

MÉMOIRE

THÉORIQUE ET PRATIQUE

SUR

LES BATEAUX A VAPEUR.

Page 31, ligne 11, *lisez* : fig. 1, *au lieu de* fig. 3.

Ligne 18, page 168, *au lieu de* tout près de L..., *lisez* : tout près de L...

IMPRIMERIE DE H. FOURNIER ET Cᵉ, RUE DE SEINE, N° 14.

MÉMOIRE

THÉORIQUE ET PRATIQUE

SUR LES

BATEAUX A VAPEUR,

CONTENANT

La détermination de la puissance dynamique des moteurs connus;
La description des différentes sortes de machines à feu;
Les équations exactes qui servent à résoudre tous les problèmes relatifs aux bateaux à vapeur;
Les causes d'explosion des chaudières et le moyen de les prévenir;
La description d'un nouveau bateau à vapeur, etc., etc.

PRÉSENTÉ A L'INSTITUT

POUR CONCOURIR AU PRIX FONDÉ PAR LE ROI,

PAR M. GALY CAZALAT,

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, ETC., ETC.,
INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR A PARIS.

PARIS,

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE,
DE L. MATHIAS (AUGUSTIN), QUAI MALAQUAIS, N° 15.

M DCCC XXXVII.



ERRATA.

Toutes les erreurs introduites dans les calculs et corrigées ci-dessous proviennent de la substitution de B et de l, à la place de B' et de L.

Pages.	*Lignes.*	*Lisez.*	*Au lieu de.*
28.	13.	fig. 8, planche 2.	fig. 8.
31.	11.	fig. 1.	fig. 3.
32.	17.	2 et 3.	5, 6.
33.	6.	fig. 2.	fig. 6.
62.	dernière.	π.	L.
64.	dernière.	$B'l$.	$B'L$.
65.	17.	$2B'P.\ log.\frac{L}{l}$.	$2BPl\left(1+log.\frac{L}{l}\right)$.
65.	7.	$x=l$	$=xl$
66	5. 21. 23.	B'.	B.
67.	3. 4. 6.	B'.	B.
67.	15.	L.	l.
67.	18.	$\frac{2B'PlV}{\pi D}$.	$\frac{2B'Pl^2V}{\pi DL}$
68.	3.	$\frac{Pl}{D}d^2V$.	$\frac{Pl^2}{DL}d^2V$.
68.	4.	B'.	B^2.
68	9.	$\frac{P}{D}ld^2$	$\frac{P}{DL}l^2d^2$.
70.	14.	$\frac{P}{D}ld^2$	$\frac{P}{DL}l^2d^2$
168.	18.	L'^2	L.



Malgré tous les efforts d'un millier d'inventeurs, le système actuel de la navigation par le feu n'est pas à la hauteur des connaissances mécaniques. La raison en est que les savans ne veulent point s'occuper d'industrie, et que les industriels ainsi que les constructeurs de machines sont, en général, peu avancés en théorie. Après avoir enseigné pendant quinze ans les sciences que j'avais apprises des professeurs célèbres de l'Ecole Polytechnique, j'ai passé les cinq dernières années à faire, dans les laboratoires et dans les ateliers, des recherches persévérantes sur les machines à vapeur. Le Mémoire que j'ai l'honneur de soumettre à l'Institut est le résultat de ces recherches que je suis venu compléter à Londres. Je prie l'Académie d'être indulgente pour les incorrections échappées à une rédaction trop rapide.

Londres, ce 10 septembre 1836.

AVANT-PROPOS.

Si l'on avait dirigé dans leurs recherches les mille inventeurs qui depuis vingt ans ont perdu leur temps et leur fortune à imaginer des perfectionnemens prétendus sur les machines à vapeur, il est vraisemblable que la navigation par le feu serait aujourd'hui moins imparfaite. Convaincu que la pensée qui a fait proposer le prix sur les bateaux a voulu donner aux recherches ultérieures une bonne direction, ou mettre en évidence des perfectionnemens utiles et peu connus, j'ai divisé en deux parties distinctes le mémoire que j'ai l'honneur de soumettre à l'Institut.

Dans la première partie je traite :

1° Des puissances dynamiques réelles des différentes sortes de moteurs applicables à la navigation.

2° Des différentes machines proposées pour transmettre l'action de ces moteurs.

Après avoir démontré, par le calcul et par l'expérience, que le feu est, après le vent, le moteur le moins coûteux, qu'une quantité connue de calorique engendre la puissance dynamique la plus grande quand on l'appliqne aux liquides pour les convertir en vapeur, j'ai comparé les effets produits par les machines de Watt, par les machines rotatives, et par les oscillantes.

Cette comparaison a dû m'amener à conclure que l'on obtient le plus grand effet utile d'un poids donné de vapeur, en la faisant agir sur chaque face d'un piston qu'elle pousse alternativement de l'une à l'autre base d'un cylindre, et la laissant se détendre jusqu'à la limite la plus convenable avant de la condenser.

Ces principes étant invariablement établis, je me suis occupé de la résistance qui, dans la navigation, doit être surmontée par les machines à détente. L'inertie opposée par l'eau à la marche des navires se composant d'un excès de pression contre la proue, d'une réduction de pression sur la poupe, et du frottement latéral, j'ai mesuré séparément, à toutes les vitesses, chacune de ces composantes. Leurs déterminations exactes, combinées avec la surélévation des bateaux qui marchent très vite, pourront amener, plus facilement que la connaissance des résistances totales, à la découverte de la forme qui ferait éprouver aux carènes la moindre résistance.

Connaissant les obstacles à vaincre, ainsi que le moteur et les

machines à employer, j'ai donné les équations générales qui servent à résoudre tous les problèmes relatifs aux bateaux à vapeur.

Dans la seconde partie du mémoire, je me suis occupé des inconvéniens et des pertes de force attachés à chacun des appareils qui composent les machines actuelles ; j'ai donné les moyens d'éviter les inconvéniens et de rendre les pertes moindres ; enfin, j'ai terminé par la description d'un bateau à vapeur qui n'offre aucun danger et qui me paraît devoir rendre la navigation lointaine moins coûteuse et plus rapide.

MÉMOIRE

SUR

LES BATEAUX A VAPEUR.



PREMIÈRE PARTIE.

DES MOTEURS EN GÉNÉRAL.

Chaque moteur vivant ou élémentaire produit des effets plus ou moins grands, selon la manière dont on le fait agir et suivant la relation entre l'intensité et la vitesse de son action. Pour comparer entre eux les différens moteurs, il faut donc les faire agir de la même manière, avec les vitesses les plus convenables, pour produire le même effet. L'évaluation des effets produits se fait

en les rapportant à une mesure commune qui est l'unité dynamique. Dans les calculs que nous aurons à faire, nous prendrons pour cette unité *un kilogramme élevé à un mètre de hauteur en une seconde.*

MOTEURS VIVANS.

Parmi les moteurs vivans, l'homme et le cheval sont les seuls employés à remorquer les bateaux.

FORCE MOYENNE DE L'HOMME.

Un homme qui marche sur un chemin horizontal, pendant dix heures par jour, avec une vitesse de un mètre par seconde, en remorquant un bateau au moyen d'une corde attachée à son épaule, qu'il penche en avant, exerce moyennement une force de traction représentée par 12,25 kilogrammes.

Cette observation nous apprend que le travail moyen de l'homme, appliqué au halage, est équivalent à l'effet produit par une force de traction continue dont l'intensité serait égale à

$$\frac{10}{24}(12,25)=5,104 \text{ kilogrammes.}$$

La force de traction moyenne de l'homme, supposée continue, peut donc être représentée par

5, 104 unités dynamiques.

FORCE MOYENNE DU CHEVAL.

Un cheval de force moyenne qui tire horizontalement une corde attachée à la hauteur du poitrail, peut élever 75 kilogrammes par seconde à un mètre de hauteur pendant dix heures par jour.

En supposant son travail continu, il élèverait $75\frac{10}{24} = 31,33$ kilog. par seconde à un mètre de hauteur.

La force moyenne continue du cheval qui tire peut donc être mesurée par

31,33 unités dynamiques.

Quand les chemins sont inclinés à l'horizon, sa puissance effective décroit plus rapidement que celle de l'homme à mesure que l'inclinaison augmente.

MOTEURS ÉLÉMENTAIRES.

Les moteurs élémentaires sont :

1° Les cours d'eau ; 2° les vents ; 3° les courans électriques ; 4° le feu et les actions chimiques qui font passer brusquement à l'état de gaz ou de vapeur des masses solides et liquides, ou qui condensent en liquides des substances aériformes.

Nous allons indiquer successivement le pouvoir dynamique de chacun de ces moteurs, en suivant l'ordre de leur importance pour la navigation.

PUISSANCE MOTRICE DU VENT.

La pression normale du vent sur une surface qu'on lui oppose étant évidemment proportionnelle à l'étendne de la surface, il suffit, pour la connaître, de la mesurer en un point de la même couche d'air.

Le procédé le plus exact pour obtenir cette mesure, serait d'employer la force du vent à élever un liquide dans un tube vertical. Si l'on fixe horizontalement un cylindre de verre plein d'eau, fermé antérieurement par une membrane flexible, un peu convexe, imperméable, et terminé postérieurement par un tube non capillaire, vertical, la pression du vent contre la membrane élèvera l'eau dans le tube à une hauteur qui fera connaître immédiatement la force impulsive.

Quant à la vitesse correspondante, on l'obtiendrait au moyen de la formnle de Laplace, qui donne la vitesse du son dans l'air, en observant que cette vitesse s'augmente de celle du vent, lorsque ce dernier souffle dans le sens de la transmission du son.

L'on aurait donc en mètres $v = V - 327{,}52 \sqrt{1 + at}$ formule dans laquelle v représente la vitesse du vent; V la vitesse du son dans l'air qui se meut suivant la même direction; t la température en degrés centigrades; $a = 0{,}00375$ le coefficient de dilatation des gaz. Pour obtenir la valeur de V, seule inconnue

du second membre de l'équation, des observateurs iraient placer sous le vent une pièce d'artillerie, à une grande distance visible de ceux qui notent la force impulsible. Cette distance connue, divisée par le temps écoulé entre la perception de la flamme et celle du bruit d'une explosion, donnerait la valeur de V et par suite celle de v.

En attendant que ces expériences soient faites, l'on peut employer les résultats consignés dans le tableau ci-dessous donné par M. Rouse.

Il résulte de ce tableau que la force du vent peut être considérée, dans la pratique, comme étant proportionnelle au carré de sa vitesse, et comme elle est d'ailleurs proportionnée à l'aire des voiles, il suffit de savoir que sur un mètre carré de surface imperméable à l'air la pression du vent est égale à 0,12115 kilog. quand la vitesse est de un mètre par seconde.

Si l'on veut évaluer en unités dynamiques l'impulsion du vent sur un mètre carré de voiles imperméables, l'on trouvera qu'à la vitesse de 3,87 mètres, le vent qui souffle sur un mètre carré peut entraîner un kilogramme avec une vitesse d'un mètre par seconde, ce qui représente l'unité dynamique.

VITESSE DU VENT.			PRESSION NORMALE SUR		NOMS donnés aux vents.
milles par heure.	pieds anglais.	mètres par seconde.	Un pied carré en livres avoir du pois.	10, 5 décimètres carrés en grammes.	
1	1,47	0,45	0,005	2,2	Vent à peine sensible.
2	2,93	0,90	0,020	9,0	Brise légère.
3	4,40	1,34	0,044	19,9	
4	5,87	1,38	0,079	35,8	Vent frais.
5	7,33	2,23	0,123	55,7	
10	11,67	4,47	0,492	223,0	Vent bon frais.
15	22,00	6,70	1,107	502,0	
20	29,34	8,94	1,968	892,3	Forte brise.
25	36,67	11,17	3,075	1394,3	
30	44,01	13,41	4,429	2008,3	Grand vent.
35	51,34	15,65	6,027	2733,0	
40	58,68	17,88	7,873	3570,0	Raffale.
45	66,01	20,11	9,963	4517,0	
50	73,35	22,35	12,300	5577,0	Tempête.
60	88,02	26,82	17,715	8032,0	Grande tempête.
80	117,36	35,77	31,490	14278,0	Ouragan.
100	146,70	44,71	49,200	22309,0	Furieux ouragan, trombe.

Un mètre = 3,2809 pieds anglais.
Un kilogramme = 2,207 livres avoir du pois.

PUISSANCE MOTRICE DES VAPEURS DE DIFFÉRENS LIQUIDES.

Pour qu'on puisse évaluer, d'après nos formules, la puissance des vapeurs, nous avons réuni dans les tableaux ci-dessous les mesures de leurs propriétés dynamiques obtenues par les premiers physiciens, Arago, Dulong, Gay-Lussac.

VAPEUR D'EAU.

TEMPÉRATURES en degrés centigrades.	FORCES ÉLASTIQUES en millimètres de mercure.	PRESSIONS sur un centimètre carré en kilogrammes.	DENSITÉS	VOLUMES
			En prenant pour unités la densité et le volume de l'eau liquide à 0° degrés; laquelle eau a pour poids spécifique 0,998918 et pour volume correspondant 1,001082.	
degr.	mm.	kil.		
—20,00	1,333	0,00180	0,00000154	650588
—15,00	1,879	0,00260	212	470898
—10,00	2,631	0,00360	292	342984
— 5,00	3,660	0,00500	398	251358
0,00	5,059	0,00690	540	182323
5,00	6,947	0,00940	727	137488
10,00	9,475	0,01290	974	102670
15,00	12,837	0,01700	0,00001299	77008
20,00	17,314	0,02350	1718	58224
25,00	23,090	0,03140	2252	44441
30,00	30,613	0,04180	2938	34041
35,00	40,404	0,05490	3809	26253
40,00	52,998	0,07200	4916	20343
45,00	68,751	0,09340	6274	15938
50,00	88,743	0,12056	7970	12546
55,00	113,710	0,15449	0,00010054	9946
60,00	144,660	0,19653	12599	7937
65,00	182,710	0,24823	15668	6382
70,00	229,070	0,31124	19355	5167
75,00	285,070	0,39632	23789	4204
80,00	352,080	0,47834	28889	3462
85,00	431,710	0,58652	34916	2864
90,00	525,280	0,71364	41894	2387
95,00	634,270	0,86172	0,00049886	2005
100,00	760,000	1,03253	0,00058955	1696

Forces élastiques obtenues par l'observation depuis une jusqu'à 24 atmosphères, et par le calcul depuis 24 jusqu'à 50, au moyen de la formule $F = (1 + 0,7153\,T)^5$, dans laquelle T représente le nombre de degrés au-dessus de 100 pour chaque température.

TEMPÉRATURES en degrés centigrades.	FORCES élastiques en atmosphères.	PRESSIONS sur un centimètre carré en kilogrammes.	DENSITÉS	VOLUMES
			En prenant pour unités la densité et le volume de l'eau liquide à 0° degrés, laquelle eau a pour poids spécifique 0,9998918 et pour volume correspondant 1,0001082.	
degr.	atmosph.	kil.		
100,00	1,0	1,033	0,00058955	1696,000
112,02	1,5	1,519	8563	1167,800
121,04	2,0	2,066	0,00011417	897,009
128,08	2,5	2,582	13673	731,039
135,01	3,0	3,099	16150	619,019
140,06	3,5	3,615	18589	537,096
145,04	4,0	4,132	0,00020997	476,026
149,06	4,5	4,648	23410	427,018
153,08	5,0	5,165	25763	388,016
156,08	5,5	5,681	28091	355,099
160,02	6,0	6,198	30402	328,093
163,48	6,5	6,714	32683	305,098
166,05	7,0	7,231	34911	286,012
169,37	7,5	7,747	37217	268,082
172,01	8,0	8,264	39134	253,059
177,01	9,0	9,297	43865	227,098
181,06	10,0	10,330	48226	207,036
185,03	11,0	11,363	52557	190,027
190,00	12,0	12,396	56831	175,096
193,07	13,0	13,429	0,00061074	163,074
197,19	14,0	14,462	0,00065270	153,010
200,48	15,0	15,495	0,00069144	144,000
203,60	16,0	16,528	73586	135,090
206,57	17,0	17,561	77692	128,071
209,04	18,0	18,594	81778	122,028
212,01	19,0	19,627	85831	116,051
214,07	20,0	20,660	89863	111,028
217,02	21,0	21,693	93868	106,053
219,06	22,0	22,726	97853	102,195
221,09	23,0	23,759	0,00010182	98,213
224,02	24,0	24,792	0,00010575	94,562
226,03	25,0	25,825	0,00010968	91,171
236,02	30,0	30,990	0,00012903	77,050
244,85	35,0	36,155	0,00014663	68,198
252,55	40,0	41,320	0,00016644	60,008
259,52	45,0	46,485	0,00018497	54,064
265,89	50,0	51,650	0,00020306	49,315

PUISSANCE DYNAMIQUE DÉVELOPPÉE PAR LA COMBUSTION D'UN KILOGRAMME DE HOUILLE VAPORISANT DE L'EAU.

Dans une des mines de Cornwall, il y a une machine qui, dans le mois d'avril 1828, élevait 301,501 kilog. à un mètre de hauteur pour chaque kilogramme de houille brûlée. Dans cette machine du capitaine Grose, un kilo de combustible peut donc produire 301,501 unités dynamiques, tandis que les machines communes donnent depuis 100 jusqu'à 150 mille unités seulement.

Le diamètre du cylindre à vapeur est de 80 pouces anglais ou de 2,032 mètres; la course du piston égale 2,896 mètres, et le nombre de coups par minute est de 6.9.

La dépense de houille pendant le mois d'avril fut de 66 tonnes.

Quoique cette machine produise trois fois plus que la plupart des autres, elle est encore loin de donner la quantité de travail que le combustible devrait produire selon la théorie.

Pour mesurer l'effet utile d'une machine à détente, la théorie donne, comme on le verra plus loin dans ce mémoire, la formule

$$K e E P \left(1 + 2{,}1416 \log. \frac{L}{l}\right) \ldots 5,$$

$$\text{Ou bien } \frac{l}{L} R p U \left(1 + 2{,}1416 \log. \frac{L}{l}\right) \ldots 6.$$

e, le poids, en kilogrammes, de l'eau vaporisée par seconde.

E, le volume en litres de la vapeur, provenant de un kilog. de cette eau.

P, la force élastique de la vapeur en kilogrammes sur un décimètre carré du piston.

B, l'aire de la base du piston en décimètres carrés.

L, la longueur de la course du piston en décimètres.

l, l'espace que le piston a parcouru dans le cylindre à détente quand on intercepte la vapeur qui vient de la chaudière.

U, la vitesse du piston par seconde.

Cela posé, pour élever à cent degrés, terme de son ébullition sous la pression barométrique moyenne, un kilogramme d'eau potable, dont la température est *t*, il faut lui communiquer (100 — *t*) unités de calorique. (L'unité est la quantité de calorique nécessaire pour élever d'un degré centigrade un kilogramme d'eau pure). Pour faire passer ensuite l'eau liquide à l'état de vapeur, tout en lui conservant sa température de cent degrés, il faut lui donner 540 unités de plus. Comme l'expérience paraît avoir prouvé que la quantité de calorique contenue dans une même masse de vapeur ayant son maximum de force, est la même à toutes les températures, l'on doit admettre que « Pour convertir en vapeur, sous une pression quelconque, un « kilogramme d'eau à *t* degrés, il faut lui communiquer (640—*t*) « unités de calorique. »

Or, un kilogramme de charbon brûlant dans un calorimètre

y développe 7220 unités de chaleur : il pourrait donc vaporiser

$$\frac{7220}{620}=11,6$$

kilogrammes d'eau prise à la température de 20 degrés.

Cependant dans les chaudières les meilleures, un kilogramme de houille vaporise, au plus, 7 kilogrammes d'eau; donc la perte provenant des fuites, du refroidissement et d'une combustion imparfaite, s'élève pour les chaudières seules à 35 pour cent.

En admettant sept kilogrammes, vaporisés par un kilogramme de houille, et prenant pour simplifier les calculs L = 1 mètre; $l = 0,5$ mètres; $U = 1$ mètre.

La substitution de ces valeurs dans la formule (5) donnera

$$K\,e\,E\,P\,(1,64468). \quad . \quad (a)$$

qui en faisant $K = 0,64$; $e = 7$ devient $(7,368.\ E.\ P.) \ldots (a')$ (1*).

Si dans la machine du capitaine Grose la vapeur, fonctionnant

(1*) La formule (a') montre que les effets produits sont proportionnels au volume de la vapeur multipliée par sa tension. Comme ce produit EP croît avec la température, il s'ensuit que les machines à haute pression sont les plus aventageuses. Toutefois, il ne faut pas que la tension de la vapeur dépasse douze atmosphères, parce que à la température correspondante qui est de 190 degrés centigrades, la puissance vaporisante de la chaudière est à son maximum. L'expérience semble même prouver que la pression de quatre à six atmosphères est la plus économique. Ceci doit tenir à ce que le refroi-

à détente et à condensation, avait une température de 160 degrés, par exemple, l'on aurait

$$P = 600$$
$$E = 328$$
$$EP = 196800$$

Substituant la valeur de EP dans (a'), l'on trouverait

$$1449022$$

Pour la puissance effective de la machine à condensation et à détente, puissance que l'on devra diminuer de 7 pour cent afin de tenir compte de la vapeur non condensée et de la force nécessaire pour mouvoir la pompe à air.

Supposons que cette puissance, appliquée aux pompes qui élèvent l'eau des profondeurs de la mine, éprouve 33 pour cent de déchet pour les mettre en mouvement et pour chasser le liquide élevé jusqu'au niveau du sol ; en déduisant 40 pour cent de déchet total, l'on aura 869,413 pour la quantité de travail

---

dissement des parois de la chaudière est moindre et le calorique transmis à travers leur épaisseur plus considérable, quand la température de la vapeur est au-dessous de 160 degrés, que lorsqu'elle s'élève à 190 degrés ; de plus, les fuites et le passage de la vapeur d'une face à l'autre du piston sont d'autant plus grands que la tension est plus forte.

Enfin, quand le feu est trop violent, et la température de la chaudière trop élevée, les parois se brûlent sous les plus minces couches de sels, quelque bien établis que soient les courans contraires d'eau et de vapeur.

obtenu d'une excellente machine animée par la vapeur que développe un kilogramme de charbon dans une chaudière commune.

Ainsi, naguère les machines de Watt, dont beaucoup fonctionnent encore, produisaient trois fois moins qu'elles ne donnent aujourd'hui pour la même quantité du même combustible : nonobstant ce grand perfectionnement, le calcul précédent montre, ce qu'on hésite à croire, qu'on peut encore obtenir environ trois fois plus que par les machines actuelles, sans compter les économies à réaliser dans les chaudières.

COMPARAISON ENTRE LES PUISSANCES DYNAMIQUES DÉVELOPPÉES PAR LA COMBUSTION D'UN KILOGRAMME DE HOUILLE EMPLOYÉE A VAPORISER DIFFÉRENS LIQUIDES.

Si l'on avait pour chaque liquide des tables comme celles que nous avons données pour l'eau, l'on pourrait mesurer la puissance dynamique des différentes sortes de vapeurs à toutes les températures. En attendant que les physiciens fassent des observations plus complètes et surtout plus exactes que celles qui font connaître les tensions et les volumes de quelques vapeurs, nous adopterons les données ci-dessous pour comparer entre elles les puissances motrices de la même quantité de combustible employé à vaporiser l'eau, l'alcool et l'éther sulfurique.

LIQUIDES.	TEMPÉRATURE d'ébullition.	DENSITÉS à 0° celle de l'eau étant 1.	PRESSION DE LA VAPEUR sur un centimètre carré en kilogrammes, la température étant de		RAPPORT du volume de la vapeur à la température de l'ébullition au volume du liquide à zero degres.	UNITÉS de calorique contenues dans un kilogramme de vapeur à partir de zero degr
			79 degrés.	39 degrés.		
Eau	100	1,000	0,459	0,068	1696	640,0
Alcool	79	0,793	1,033	×	520	255,5
Ether sulf.	39	0,715	×	1,033	218	109,3

Au moyen de ce tableau, si l'on veut comparer entre eux les effets utiles des vapeurs d'eau et d'éther, par exemple, fonctionnant successivement à la même température, dans la même machine, il suffira de calculer le rapport.

$$\frac{c E P}{c' E' P'}$$

Dans ce rapport, déduit de la formule

$$K c E P (1,6447)$$

applicable à tous les liquides, les lettres K, c, E, P étant relatives à l'eau, K', c', E', P' se rapportent à l'éther. Comme l'on peut supposer $K = K'$, quand la température est la même, l'on a supprimé les facteurs K et 1, 6447, communs aux numérateurs et dénominateurs. Cela posé, prenons théoriquement les deux vapeurs à 39 degrés centigrades et considérons une chaudière

dans laquelle un kilogramme de houille vaporise sept kilogrammes d'eau prise à 20°; en sorte que le calorique transmis au liquide égale 4340 unités.

Si la chaudière contenait de l'eau à 20 degrés, recouverte d'une mince couche d'éther, un kilogramme de la même houille vaporiserait

$$\frac{4340}{109,5-20}=48,6$$

kilogrammes d'éther dont le volume est égal à

$$48,6\frac{1}{0,715}=67,95$$

litres à 0 degrés.

Or, chaque litre d'éther sulfurique à 0 degrés, en passant de l'état liquide à l'état de vapeur à 39 degrés, fournit 218 litres aériformes.

Donc, $e'E'=67,95\times218=14813$; $P'=1,033$.

D'un autre côté, la vapeur d'eau à 39 degrés donne $P=0,068$, $E=21429$; $e=7$.

En substituant ces valeurs dans le rapport, on a

$$\frac{eEP}{e'E'P'}=\frac{7\times21429\times0,068}{14813\times1,033}=\frac{10200}{15301}$$

résultat qui montre qu'à égalité de combustible, la vapeur d'éther produit un plus grand effet dynamique que la vapeur d'eau.

Un calcul analogue apprend que la vapeur de l'alcool rec-

tifié, ou de tout autre liquide, est moins puissante que celle de l'eau, qui d'ailleurs ne coûte rien.

Toutefois, dans les distillations alcooliques, on pourrait employer, comme force motrice, la vapeur fabriquée, que dans certains cas l'on devrait faire agir avant de la condenser.

PUISSANCE DYNAMIQUE DU GAZ HYDROGÈNE PUR.

En 1822, après avoir reconnu que l'hydrogène, dégagé par le zinc de l'eau acidulée, cesse de se développer sous la pression de vingt-huit atmosphères, je fis construire, à Perpignan, où ils sont encore, un fusil à gaz hydrogène et un chalumeau à gaz tonnant, inexplosible, d'une puissance comburante incomparable. Trois ou quatre ans plus tard, en 1827 et 1826, M. J.-A. Dubain, capitaine du génie, et moi, nous fîmes disposer un autre appareil à hydrogène pour faire marcher un bateau.

Nous avions alors l'espérance qu'on trouverait à utiliser en grand le sulfate de zinc. Si cet espoir se réalisait un jour, l'on aurait, sans dépense, un moteur qui se développe rapidement de lui-même sous une pression constante de vingt-huit atmosphères.

Dans l'état actuel des choses, l'hydrogène, malgré sa puissance, est trop cher pour servir de moteur. Pour reconnaître la puissance dynamique de l'hydrogène naissant, je fis l'expérience suivante :

Une canne de verre épais, A B C, fig. 1, fermée par un bout et tenue verticalement, fut à moitié remplie d'eau contenant un sixième environ d'acide sulfurique. Cela fait, j'introduisis dans la canne, par l'orifice *A*, un tube divisé en capacités égales, portant une virole de zinc x x. Je fermai ensuite la canne enveloppe avec un long bouchon de liége, ficelé et goudronné ; enfin, je retournai l'appareil, comme on le voit dans la figure 2, en m'éloignant, parce que j'ignorais d'abord la résistance de l'enveloppe et la force du gaz.

Le zinc *x x* étant plongé dans l'eau acidulée, dont le niveau est en B, une portion de cette eau se décompose; son oxigène s'unit au zinc, dont l'oxide se combine avec l'acide sulfurique, tandis que l'hydrogène se dégage. A mesure que ce dernier s'accumule extérieurement au tube gradué, dans la partie supérieure B c de son enveloppe, la force élastique croissante de l'hydrogène presse le niveau B de l'eau qu'elle force à monter dans le tube x y, contenant une colonne d'air qui se comprime. Lorsque je m'aperçus que le gaz hydrogène ne se dégageait plus, je m'approchai de l'appareil : le volume de l'air, emprisonné dans le manomètre x y, était la vingt-huitième partie du volume qu'il occupait sous la pression initiale. Donc, d'après la loi de Mariotte, la force maximum des affinités chimiques qui décomposent l'hydrogène est équivalente à la pression de vingt-huit atmosphères.

Cette expérience, répétée dans la suite à Nanci, à Versailles

et à Paris, m'a toujours donné à peu près la même pression pour des quantités inégales d'acide. Ce dernier n'a d'influence que pour la rapidité de la décomposition de l'eau, qui ne doit en contenir ni trop, ni trop peu. De 1/6 à 1/10, le dégagement est le plus rapide. Indépendamment de sa force de dégagement, l'hydrogène possède encore deux propriétés dynamiques résultant de l'inflammation de son mélange avec l'air. On sait que par l'action du feu ou de l'étincelle électrique, l'oxigène et l'hydrogène se combinent dans la proportion exacte de un à deux. Comme cent parties d'air contiennent 21 d'oxigène, pour brûler ce dernier, il faut mélanger l'air avec 42 d'hydrogène. Si la combustion est complète, il y aura, sur 142 volumes de mélange, 63 volumes brûlés. A la température de la combustion la vapeur résultante produit instantanément une pression plus ou moins grande, selon le volume brûlé et la nature de l'enceinte dans laquelle la détonation a lieu. Le refroidissement subit de cette vapeur peut produire une condensation de 63 sur 142 volumes.

J'ai décrit, il y a bien long-temps, une machine dans laquelle le gaz hydrogène travaille à la fois par sa force de dégagement, par l'expansion et par la condensation produites à l'instant où le gaz s'étant mélangé de lui-même convenablement avec l'air, le mélange se met en communication avec une lampe qui l'enflamme.

MACHINE A GAZ HYDROGÈNE CARBONÉ.

J'ai vu fonctionner, en 1832, aux environs de Londres, chez l'inventeur, M. Brown, une très grande machine à gaz hydrogène carboné.

Dans cette machine, qu'on transporta l'année suivante à Paris, le gaz tonnant agit par l'expansion de la vapeur qu'il forme sous la température de la flamme et par la condensation subséquente de cette vapeur refroidie. L'inflammation a lieu dans un immense cylindre fermé supérieurement par une calotte mobile et inférieurement par une vanne-soupape. L'hydrogène carboné, formé par la distillation de la houille, est recueilli d'abord dans un gazomètre, de là il entre dans le cylindre où il se combine convenablement avec l'air.

Quand le mélange atteint la proportion voulue, une soupape s'ouvre pour le mettre en communication avec une lampe qui l'enflamme. A l'instant, les produits de la combustion, soulevant la calotte, s'échappent en grande partie au dehors, et il s'ensuit une condensation. Alors, le couvercle supérieur se referme hermétiquement, tandis que l'eau à élever soulève la soupape inférieure pour entrer dans le cylindre. Cette eau élevée s'échappe ensuite par une deuxième vanne-soupape, aussitôt qu'un mécanisme soulève le couvercle du cylindre pour y laisser rentrer l'air qui expulse l'acide carbonique et l'azote.

Nous dirons, pour cette machine comme pour la précédente, que le gaz est trop cher, et que, s'il est moins coûteux que l'hydrogène pur, il n'a point, comme ce dernier, une immense force de dégagement qui se développe d'elle-même sans fourneaux ni gazomètres.

FORCE DYNAMIQUE DU GAZ AMMONIAQUE.

L'on a proposé aussi d'employer pour puissance dynamique la propriété que possède le gaz ammoniaque de faire un vide instantané en se dissolvant dans l'eau. L'on sait, en effet, qu'à la température et sous la pression ordinaire, l'eau peut dissoudre 430 fois son volume d'ammoniaque, qu'on peut ensuite retirer, en partie, en échauffant la dissolution.

Cette condensation, quoique puissante, est loin d'équivaloir à celle de la vapeur, qui a de plus l'immense avantage d'agir plus fortement encore par son passage de l'état liquide à l'état gazeux. Enfin, la vapeur est beaucoup moins chère que le gaz ammoniaque.

PUISSANCE DYNAMIQUE DU GAZ ACIDE CARBONIQUE.

Ce que je viens de dire du gaz ammoniaque s'applique également à l'acide carbonique, qui se liquéfie sous la pression d'environ trente atmosphères.

La température de l'acide liquide étant de quarante atmo-

sphères, à 20 degrés, si on le porte à quatre-vingts degrés, le liquide redevient gaz en acquérant une force élastique de quatre vingt-dix atmosphères. (Ces forces sont évaluées approximativement.)

Malgré l'accroissement de puissance égale à cinquante atmosphères pour un si faible échauffement, le pouvoir moteur de l'acide est bien plus faible que celui de la vapeur. La raison en est que le volume gazeux, qui est le second facteur du produit équivalent à la quantité de mouvement, est plus petit pour l'acide carbonique que pour la vapeur d'eau.

Ajoutons que cette dernière peut être perdue ou liquéfiée presque sans dépenses, tandis que pour ramener le gaz à son état primitif, il faudrait une quantité considérable d'eau froide ou de force.

Aussi, malgré tout son génie, notre compatriote, M. Brunel, placé à la tête des ingénieurs de l'Angleterre, a-t-il été obligé de renoncer à la machine mue par l'acide carbonique qu'il avait proposée.

FORCE DYNAMIQUE DE LA POUDRE.

Parmi les nombreuses données expérimentales de M. Gay-Lussac, on trouve que d'un litre de poudre, pesant 900 grammes, l'on retire 450 litres de gaz à zéro, et sous la pression barométrique $0^m,76$.

Si l'on suppose qu'à l'instant de l'inflammation de la poudre ses produits gazeux se trouvaient à 700 degrés centigrades, leur volume condensé devait être équivalent à 450 (1 + 0,00 375 × 700) = 1631 litres, sous la pression $0^m, 76$.

Cette force immense instantanée produirait des effets dynamiques considérables si le volume des gaz ne devait pas décroître rapidement par la nécessité de n'enflammer à la fois que de faibles quantités de poudre dans des vases métalliques étroits qui refroidissent les produits. Pour mesurer, en pareil cas, la puissance réelle de la poudre, j'ai fait l'expérience suivante dans les ateliers du célèbre armurier, M. Wilkinson, qui a bien voulu m'aider avec une extrême obligeance.

A B, fig. 8, représente un tube de dix lignes de diamètre et d'un longueur telle que sa capacité est plus grande que le volume des gaz provenant de la poudre qu'on veut enflammer. A l'entrée A, l'on vissait un pistolet P de poche et à capsule, qui ne laisse rien échapper par la lumière. Une bourre, inventée par M. Wilkinson, était placée en X et devait parcourir le tube comme un piston à frottement négligeable. Le pistolet P, contenant une quantité de poudre exactement pesée, l'on engageait l'ouverture B du canon sous la cloche C, pleine d'eau, et renversée sur une cuve pneumatique. Alors on tirait le pistolet. L'air contenu dans A B était chassé en partie sous la pression atmosphérique, et un volume égal à celui du gaz, développé par la poudre, était recueilli dans la cloche C.

Nous mesurions ce volume en le faisant passer ensuite dans une cloche graduée.

Le plus fort des produits que nous avons obtenus avec 10 grains de poudre, dont le volume égale 0, 718 centimètres cubes, a été de 41, 5 pouces cubes anglais, qui valent 679, 716 centimètres cubes. Il résulte de là que

« Un volume de poudre qui s'enflamme dans un tube de dix « lignes de diamètre, à la température de quinze degrés centi- « grades, peut donner jusqu'à 946 volumes de gaz sous la pres- « sion de l'air. »

En faisant détoner sept grains de poudre, nous n'avons trouvé que vingt pouces cubes de gaz.

Une telle différence dans les produits indique le désavantage qu'il y aurait à remplacer la vapeur par la poudre, lors même qu'il n'y aurait pas une si grande différence dans les prix, et qu'on ne tiendrait pas compte du désavantage qu'il y aurait à remplacer une impulsion continue par une série de chocs qui détruirait les machines.

La poudre que nous avons employée avec M. Wilkinson produisait une impulsion de 56 livres anglaises, ou 25,4 kilog. dans l'éprouvette à cadran. C'est la meilleure poudre anglaise de chasse; on suppose que sa vitesse est, au moment de la détonation, égale à 2,500 pieds anglais, = 792 mètres par seconde.

COURANS ÉLECTRIQUES.

Enfin on a proposé sérieusement l'électricité dynamique pour mouvoir les bateaux et les voitures. Dans l'état actuel de la science, une proposition pareille n'a pas besoin d'être réfutée. Nous dirons seulement pour l'avenir que les effets électriques, assez puissans pour de petits appareils, sont bien loin d'augmenter proportionnellement à la grandeur de ces derniers.

DES MACHINES.

Il y a trois différentes sortes de machines : celles de Watt, les oscillantes et les rotatives. Dans les machines ordinaires de Watt le piston, pressé par la vapeur alternativement sur chacune de ses faces, parcourt la longueur du cylindre en imprimant un mouvement de va et vient à la tige, qui le transmet. Dans la machine rotative la tige du piston, ou l'axe du cylindre, tourne toujours dans le même sens. Pour obtenir cette rotation de la tige, qui transmet au dehors un mouvement continu et dans le même sens, l'on implante dans son épaisseur une aile rectangulaire remplissant exactement l'espace compris entre le cylindre

et son axe. Les choses sont disposées de diverses manières, mais toujours de telle sorte que la vapeur de la chaudière presse constamment une des faces de l'aile servant de piston qu'elle repousse, pendant que la vapeur qui a déjà fonctionné s'échappe dans l'air ou dans un condenseur.

Si l'on suppose qu'un piston de cette nature soit fixe dans un cylindre qui peut tourner, l'on aura une seconde espèce de machines rotatives. Nous allons donner successivement la description de la machine réputée la meilleure dans chaque espèce.

MACHINE DE WATT.

La figure 3 représente une section longitudinale; A B est le cylindre; P, le piston; T, sa tige; le cylindre communique à la chaudière au moyen d'un tuyau V, muni d'un robinet. Quand on ouvre ce dernier, la vapeur, développée par la combustion, arrive par le tuyau V dans la boîte C D. Dans cette boîte est une soupape glissante ou à tiroir X, qui se meut en même temps que le piston P, afin de permettre à la vapeur d'entrer alternativement par les canaux E F, pour aller presser successivement chaque face de P.

Dans les positions que représente la figure, la vapeur de la chaudière entrant par E repousse, dans la direction de la flèche, le piston qui chasse devant lui la vapeur de sortie communiquant avec l'ouverture S, par où elle s'échappe dans l'air ou dans un

condenseur. Dès que le piston arrive près de la base B, le tiroir prend la position ponctuée, afin de permettre à la vapeur d'entrer par F pour chasser le piston en sens contraire du mouvement primitif, et ainsi de suite.

MACHINE ROTATIVE DU COMTE DUNDONALD, LORD COCHRANE.

La figure 4 représente une section longitudinale de la machine; A est l'aile tournante ou le piston, dont la tige B B transmet le mouvement au dehors. Les figures 2, 3, sont des sections transversales représentant le piston B A dans deux positions différentes; C C est le cylindre à vapeur dans lequel B A tourne hermétiquement. D D, G G, sont deux enveloppes cylindriques parallèles assemblées invariablement par des traverses N, N; elles forment entre elles un espace destiné à laisser échapper la vapeur après qu'elle a fonctionné, et la plus grande D D est tangente au cylindre C C, avec lequel elle forme un espace dont la section représente un croissant S S. La double enveloppe G G, D D, figures 5, 6, étant maintenue dans la capacité cylindrique D D, X X, figure 4, peut tourner dans cette capacité, de manière à frotter le cylindre C C toujours sur la même arête de contact X X. Elle est traversée par l'aile B A, qui glisse hermétiquement entre les faces planes diamétrales des deux demi-rouleaux E, F. Les convexités rodées de ces rouleaux peuvent tourner chacune dans un sillon qui ferme les deux côtés de la

coupure faite dans l'espace annulaire G G D D pour laisser passer le piston. Cette disposition permet à l'aile B A de faire tourner la double enveloppe, sur elle-même, autour de son axe mathématique. Pendant cette rotation simultanée, la portion de l'aile comprise dans le croissant, diminue de largeur depuis sa position moyenne, figure 6, jusqu'à la position opposée où elle est nulle et où elle remplace l'arète de contact X X.

Cela posé, la vapeur de la chaudière pénètre par l'ouverture Y, figure 4, dans l'intérieur de G G, d'où elle passe par une fente longitudinale dans le croissant S S, comme l'indique la flèche Z. Là, retenue d'un côté par l'arète de contact X X, elle presse de l'autre côté la face T du piston, qu'elle repousse pendant que la vapeur logée en M s'échappe, suivant les deux flèches, dans l'espace annulaire et par l'ouverture K, qui aboutit au condenseur.

La pression de la vapeur contre la partie de l'aile comprise dans le croissant, variant sans cesse avec la largeur de ce dernier, on est obligé, pour établir une compensation, d'employer deux cylindres ayant un axe commun. Les ailes qui tournent dans chaque cylindre sont implantées sur cet axe de telle sorte que l'aire pressée par la vapeur est au maximum dans l'une quand elle est à zéro dans l'autre, et que la première diminue pendant que la seconde augmente jusqu'aux limites opposées. Ainsi, la pression totale est à peu près constante, et la vitesse de rotation de l'axe commun peut être transformée en un mouvement uniforme quelconque.

MACHINE A CYLINDRE TOURNANT DE M. BEALS.

Après la description de la machine précédente, quelques lignes suffiront pour faire concevoir celle de M. Beals. La figure 7 représente une coupe transversale ; B est l'axe immobile dans lequel on a ménagé deux canaux, B B, K K, figure 5. Sur l'axe B est assemblé le piston A, composé de trois pièces unies par des goujons qui leur permettent de glisser un peu les unes sur les autres. C C est le cylindre à vapeur ; il porte dans toute sa longueur deux chambres opposées rectangulaires, D, E, dans chacune desquelles glisse à frottement doux une plaque de métal servant de cloison mobile. Lorsque le cylindre tourne, les cloisons se placent convenablement et d'elles-mêmes en rentrant dans leur chambre quand celle-ci est verticalement sous l'horizon, ou en sortant pour aller s'appuyer sur l'axe quand la chambre passe au-dessus, comme l'indiquent *m* et *n*, fig. 7.

La vapeur de la chaudière arrive par B et s'élance, par B O, dans l'espace *s*, fermé par le piston et par la cloison *n* qui vient de s'abaisser en le dépassant. Cette cloison *n*, repoussée par la vapeur, entraîne la chambre D, et par suite tout le cylindre, la face K se trouvant en communication permanente avec le canal K K, figure 5, qui aboutit à l'atmosphère ou dans un condenseur.

Dans cette machine, l'espace que la vapeur remplit à chaque tour étant annulaire, la pression est à peu près constante et la rotation uniforme avec un seul cylindre.

Observations.

Nonobstant leur apparente simplicité, les machines rotatives sont moins avantageuses que celles dans lesquelles les pistons en usage glissent alternativement de l'une à l'autre base d'un cylindre. L'on sait en effet que, pour empêcher la vapeur de passer entre deux faces métalliques, il faut que ces faces soient parfaitement dressées et pressées l'une sur l'autre par une force plus grande que la tension de la vapeur. Or, ces deux conditions, faciles à remplir pour les pistons ordinaires, ne l'ont point encore été dans aucune des machines rotatives connues.

Il résulte de là, pour ces dernières, une perte considérable de force due à la vapeur qui passe d'un côté à l'autre des pistons tournans. Cette perte est certainement plus grande que celle provenant de l'obliquité d'action des bielles qui transforment en mouvement rotatoire le mouvement rectiligne des tiges. Je ne parle pas de la perte de force due au changement de direction du piston cylindrique, dont la masse étant comparativement très petite, possède une faible quantité de mouvement qu'il faut détruire à la fin de chaque course.

MACHINES OSCILLANTES.

La figure 8, planche 1, représente la coupe longitudinale d'une machine oscillante telle qu'on les construit à Paris.

A B est le cylindre à vapeur faisant corps avec deux tourrillons creux C, D, sur lesquels il opère un mouvement d'oscillation. La vapeur, dont la force élastique est ordinairement de six atmosphères, arrive de la chandière au centre du tourillon C, d'où elle est conduite par un tuyau F E dans les boîtes M, N.

Ces boîtes contiennent chacune un robinet de distribution à deux ouvertures. Quand la vapeur motrice va presser une des faces du piston, en s'introduisant dans le cylindre, à travers la clé du robinet q, par exemple, la vapeur qui vient d'agir sur la face opposée sort par le robinet p, qui la laisse échapper dans l'air.

Pour effectuer convenablement ces deux effets simultanés, les robinets p, q sont unis par une tige qui passe dans le tuyau commun de sortie S. Au bas de p est une roue dentée X engrenant avec une roue pareille Y. Celle-ci est fixée sur l'axe G, dont l'extrémité H porte une roue d'angle menée par la roue dentée Z, assemblée avec l'axe manivelle R R.

La tige du piston est attachée immédiatement à la manivelle V. Quand la vapeur repousse le piston alternativement de l'une à l'autre base, la tige T, guidée par la poulie S qui va et vient entre les barres parallèles V V, fait tourner l'axe R R et osciller A B.

IMPERFECTIONS DES MACHINES OSCILLANTES.

Toute machine locomotive qui porte des engrenages dont elle pourrait se passer est évidemment vicieuse.

Les robinets de distribution qui se détériorent en travaillant, sont mal placés partout où l'on peut mettre des soupapes glissantes que le travail rend plus fidèles.

Il y a économie à condenser la vapeur, et le système oscillant est ordinairement sans condenseur ; la raison en est que la simplicité est le seul avantage qu'elle possède, avantage qui se perd quand on opère la condensation.

Pour obvier à ces trois inconvéniens des machines oscillantes, MM. Field et Maudslay ont ajouté un condenseur, et remplacé par des tiroirs à tiges les robinets de distribution et les engrenages qui les faisaient mouvoir. Les machines oscillantes, ainsi perfectionnées, tiennent beaucoup moins de place que celles qui ont des balanciers. Cet avantage capital, dans les bateaux, est neutralisé par la course trop faible des pistons que MM. Field et Maudslay placent sous l'axe des roues à aubes. Sous ce rapport, les cylindres longs de notre bon constructeur, M. Cavé, seraient préférables, quoiqu'ils occupent un espace plus grand.

Quel que soit le système oscillant, il ne vaut pas, pour les grandes machines, les cylindres fixes. Dans ces derniers, la quantité de mouvement à détruire, à la fin de chaque course, est égale à la masse du piston multipliée par la vitesse; cette perte s'accroît dans les cylindres oscillans, dont le poids est considérable, d'une partie de la quantité de mouvement acquise par chacune de leurs moitiés.

Enfin, la masse entière oscillante étant portée par deux gros

tourillons creux, tournant dans des coussinets fixes qui doivent les maintenir avec force, le frottement qui en résulte anéantit une partie notable de la puissance motrice. Ajoutons qne les machines oscillantes sont beaucoup moins stables contre les coups de mer.

A ces considérations théoriques viennent s'ajouter les observations expérimentales. J'ai fait, sur la Tamise, un grand nombre de voyages sur un bateau à système oscillant, construit par M. Maudslay. En admettant les dépenses comparatives de combustible, données par des observations que j'ai lieu de croire exactes, il est positif que ce bateau marche moins vite que ceux dont les machines fixes ont été construites dans les mêmes ateliers.

Cette observation, faite sur la Seine, doit amener à la même conclusion, pourvu que l'on compare des machines de même force, exécutées avec une égale précision; car en fait de machines, l'excellence d'un système s'efface devant la supériorité d'une bonne exécution.

SUPÉRIORITÉ DE NOS MACHINES.

La description faite dans la deuxième partie de ce Mémoire montrera que notre système de machine à vapeur est préférable à tous ceux qu'on a exécutés. Il est plus stable, plus régulier, plus simple et plus léger qu'aucun autre. Nos cylindres, fixés

horizontalement au-dessus de la chaudière, tiennent encore moins de place que le mécanisme oscillant de M. Maudlsay. Ils ont de plus le grand avantage de pouvoir être longs, de ne pas se refroidir, et d'être exempts des inconvéniens attachés aux pistons qui ne fonctionnent point verticalement.

RÉSISTANCES

QUE LES NAVIRES ÉPROUVENT QUAND ILS SE MEUVENT A DIFFÉRENTES VITESSES.

Lorsqu'un bateau est immobile dans l'eau stagnante, il pèse autant que le volume d'eau qu'il déplace, et les pressions du liquide contre ses parois latérales opposées sont égales.

Quand le bateau se meut, la proue supporte un excès de pression équivalant à la quantité de mouvement imprimée à l'eau qu'elle refoule, tandis que la pression opposée diminue proportionnellement à la vitesse relative avec laquelle la poupe fuit l'eau qui tend à la presser.

La différence entre ces deux pressions contraires mesure la résistance directe qui s'oppose à la marche du navire; d'un autre côté le frottement latéral, comprenant les impulsions obliques de l'eau contre la carène, tend aussi à ralentir le mouvement. La valeur de ce frottement, ajoutée à la résistance directe, con-

stitue la résistance totale qui dépend de la charge, de la longueur, de la forme et de la vitesse du bateau.

Une charge plus forte, une longueur moindre, font plonger la carène plus profondément : la plus grande sectiou de la partie plongée, section qu'ou appelle maître-couple, devenant alors plus grande, l'eau qu'elle déplace, ou la résistance qu'elle éprouve, devient plus considérable.

Le maître-couple étant le même, la forme de la proue est plus ou moins propre à diminuer la résistance en détournant le liquide au lieu de le refouler; la carène, selon sa courbure, éprouve uu frottement plus ou moins grand; et la masse d'eau, repoussée par le bateau, acquiert, aux dépens de ce dernier, une quantité de mouvement qui croît avec la vitesse.

Enfin, comme la résistance de l'eau s'exerce obliquement contre la paroi inclinée de la partie antérieure de la carène, l'impulsion résultante se décompose en deux forces, dont l'une raleutit la marche, tandis que l'autre tend à soulever la proue. Si la vitesse est assez grande pour rendre sensible ce dernier effet, la masse liquide qui s'écoule horizontalement heurte le fond incliné de la carène, soulève le bateau tout entier et affaiblit la résistance en diminuant l'aire du maître-couple.

Il résulte de ce qui précède que, pour avoir les élémens variables de la résistance qu'éprouvent à diverses vitesses les navires de formes différentes, il faut

1° Déterminer la résistance qu'éprouve une surface donnée

qui se meut, en ligne droite, dans l'intérieur d'une masse d'eau tranquille, avec une vitesse connue.

2° Trouver de combien la pression de l'eau sur une paroi immergée diminue quand cette paroi fuit, avec une vitesse connue, l'eau qui tend à la presser.

3° Connaître la valeur du frottement latéral, y comprise l'action des ondes qui choquent la carène.

4° Mesurer le soulèvement du bateau, ou la diminution de l'aire du maître-couple, dans les grandes vitesses.

Les effets ci-dessus, suivant des lois différentes pour les mêmes vitesses, les résultats des expériences faites, en 1775, par MM. D'Alembert, Condorcet, Bossut et Borda, pour mesurer directement les résistances de différens modèles de navires, ne peuvent pas être généralisés. Le mode d'expérimentation suivi par ces Messieurs ne saurait donner la valeur exacte de chacun des élémens qui composent la résistance totale.

La même observation s'applique aux expériences plus variées et plus nombreuses, faites depuis 1793 jusqu'en 1798, par une société fondée à Londres pour le perfectionnement de l'architecture navale.

Continuateur habile et persévérant des travaux de cette Société, le colonel Beaufoy s'est occupé, pendant vingt ans, de la résistance qu'éprouvent les corps de différentes formes, en se mouvant dans l'eau à diverses vitesses; il a mesuré les élémens

de cette résistance qui, selon lui, semble croître comme l'exposant moyen 2, 1 de la vitesse.

Les immenses travaux du colonel, les résultats d'un nombre prodigieux d'expériences qu'il a faites, ont été imprimés en 1834, sept ans après sa mort, par l'honorable Henry Beaufoy.

Enfin, en 1833, le savant M. Macneill a rectifié quelques résultats précédemment obtenus sur la résistance totale; il a mesuré le premier le soulèvement des bateaux qui naviguent à de grandes vitesses.

Mes appareils étant plus susceptibles d'exactitude que tous ceux qui ont été employés, et mes expériences devant être plus directement applicables aux bateaux à vapeur, j'ai voulu profiter d'un long séjour à Londres pour continuer mes recherches. Quelques-unes de mes observations en grand ont été faites sur plusieurs des bateaux à vapeur qui naviguent sur la Tamise; quant aux mesures fondamentales, elles ont été prises dans l'eau tranquille, sur de petits modèles que je faisais mouvoir diversement dans un canal de 70 pieds de long et quatre pieds de large. Ce canal, éminemment commode pour de pareilles expériences, est celui dans lequel M. Macneill fit les siennes, en opérant différemment. Il est élevé à trois pieds du sol dans la galerie nationale des sciences expérimentales, dont le directeur obligeant, M. Paine, a mis à ma disposition tout ce qui pouvait me servir.

Mon procédé consiste à donner aux différens modèles de na-

vires une vitesse qui croît jusqu'à une limite maximum déterminée d'avance : la vitesse maximum étant correspondante à la plus grande résistance qu'a dû éprouver la carène, quelle que soit d'ailleurs la loi de cette résistance, il ne reste plus qu'à trouver le moyen de mesurer cette dernière, ainsi que les élémens dont elle se compose.

MESURES DES VITESSES ET DES RÉSISTANCES TOTALES.

Les figures 1 et 2, pl. 2, représentent le plan et l'élévation du canal dans lequel nous avons fait la plupart de nos expériences.

Pour imprimer le mouvement aux différens corps flottans ou plongés, pour mesurer leurs vitesses et la résistance totale que leur oppose l'eau, nous avons employé, tantôt la chute d'un poids, tantôt un mécanisme à ressort, qui met en mouvement, durant une demi-heure, les roues à aubes d'un modèle de bateau.

1° *Appareil pour les faibles résistances.*

Le corps soumis à l'expérience est tiré par un fil qui s'enroule autour de la circonférence d'une des deux roues m, que le mécanisme à ressort met en mouvement.

A cet effet, le bateau remorqueur A est fixé sur une table à l'un des bouts du canal ; le corps remorqué B est retenu à l'autre bout au moyen d'un fil de lin x. La proue de B et l'une des aubes

de A sont liées par un fil BBA de cuivre ronge, parfaitement flexible. Ce dernier s'enroulant sur l'aube m, qui tourne, entraîne B aussitôt que l'on coupe le fil x qui le retient. Quand la vitesse, d'abord croissante, est devenue constante, il faut la mesurer.

VITESSE.

Un bout de ruban rouge, attaché en un point de la circonférence de la roue motrice m, nous servait d'index. Pendant que le mouvement était uniforme, nous comptions, au moyen de l'index, les tours exécutés par la roue motrice, dans un temps marqué par un chronomètre à demi-secondes, que m'avait confié le célèbre M. Dent. Le rayon de la roue étant r, le nombre de tours et les fractions de tour étant représentés par n, durant T demi-secondes, la vitesse V, ou l'espace parcouru en une seconde par le corps remorqué, devait être évidemment égal à $\frac{\pi r n}{T}$

Quand la vitesse était tellement grande qu'on ne pouvait plus reconnaître la position de l'index qui apparaissait comme un disque rouge, nous mesurions la vitesse du premier pignon qui tourne vingt-sept fois moins vite que la roue à aubes, dont la circonférence est égale à o mètre 5. Pour cela nous laissions sur l'axe du pignon la clé qui sert à remonter le ressort, et dont la poignée horizontale décrit un cercle dont le centre est dans l'axe. Le nombre de tours et de fractions de tour décrits par une pointe fixée au bout de la poignée, nous donnait sa

vitesse. En multipliant cette dernière par vingt-sept, nous avions la vitesse de la circonférence de l'aube, sur laquelle le fil toueur s'enroule, et par conséquent celle du corps flottant qu'il entraîne.

RÉSISTANCE TOTALE.

Pour mesurer la résistance totale R sous la vitesse maximum $v =$ constante, je me sers d'une très bonne romaine à ressort spiral, faite pour indiquer la traction la plus forte qui a eu lieu pendant l'expérience.

A cet effet, le petit cylindre qui enveloppe le ressort est fixé par un cordon sur la proue du modèle à remorquer.

La tige de la romaine se prolonge des deux côtés hors du cylindre; le fil toueur de cuivre étant attaché à l'un des bouts de la tige, sa tension fait entrer dans le cylindre l'autre bout sur lequel sont marqués les poids. Celui-ci porte un anneau qui est arrêté par la base du cylindre pendant que la tige y entre, et qui conserve sa position sur cette tige graduée pour indiquer la résistance la plus forte quand l'expérience est achevée.

Pour mesurer à cet instant la force du mécanisme transportée à la circonférence de ses roues, l'on arrête le mouvement en tournant un bouton; l'on fixe sur la circonférence de la seconde roue un fil attaché à un poids trop lourd qui repose sur la table; on laisse agir le mécanisme, et on diminue peu à peu le poids qui s'oppose à la rotation, jusqu'à ce que cette rotation com-

mence. Ce poids qui, appliqué tangentiellement à la roue, fait équilibre à l'action du ressort, mesure la force de traction. Le mécanisme ci-dessus servait à mouvoir les appareils décrits à la suite et qui n'éprouvent dans l'eau qu'une faible résistance.

Quand cette dernière devait être grande, nous ajoutions à l'action du mécanisme moteur celle provenant de la chute d'un poids plus ou moins lourd.

2° *Appareil pour les grandes résistances.*

A l'extrémité du canal fig. 1 et 2, pl. 2, près du mécanisme toueur, nous avons fait élever une machine d'Athwood *s*. Cette machine, fig. 1, a une échelle *y* contenant trente-six divisions de cinq pouces anglais chacune. Au sommet de l'échelle est fixée une poulie *s* parfaitement mobile. Sur la gorge de la poulie passe un fil de cuivre très mince, tiré d'un côté par un poids et allant s'enrouler par l'autre bout sur la circonférence de la roue à aubes *n*, qui précédemment était libre dans le bateau toueur. L'autre roue *m* de ce dernier est encore liée par un fil de cuivre au corps B, qui doit se mouvoir dans le canal.

Les deux appareils moteurs sont disposés de telle sorte, qu'une des roues *m* du mécanisme toueur tourne par l'action du ressort qui l'anime, tandis que l'autre *n*, assemblée sur le même axe et trois fois plus petite que *m*, tourne dans le même sens par l'action du poids qui tombe. Comme ce dernier peut tomber de

quinze pieds de hauteur, il s'ensuit qu'à la fin de sa chute le corps B, tiré par un fil qui s'enroule sur la circonférence $m=3\,n$, aura parcouru quarante-cinq pieds dans le canal.

Lorsque la résistance, qui croît plus vite que les forces motrices, est égale à leur somme, le mouvement est uniforme. L'on obtient alors la vitesse de B de deux manières.

1° Soit e, l'espace parcouru dans un temps observé t par le poids P qui tombe le long de l'échelle divisée ; la vitesse constante de P était alors égale à $\frac{e}{t}$, en sorte que celle de B devait être $=\frac{3e}{t}$

2° Soit n, le nombre de tours fait, pendant le même temps t, par la manivelle du pignon du barillet. Les roues à aubes m, n auront fait chacune vingt-sept n tours ; or, r étant le rayon de M sur laquelle s'enroule le fil qui tire B, ce dernier aura dû parcourir, dans le temps observé t, un espace égal à $54\frac{\pi r n}{t}$, et l'on devra avoir pour vérification $54\frac{\pi r n}{t}=\frac{3e}{t}$.

Quant à la résistance totale, elle est mesurée par un dynamomètre *à maxima*, auquel sont attachés le corps B, d'une part, et le fil de traction de l'autre.

DÉTERMINATION DES ÉLÉMENS QUI AMÈNENT A LA FORMULE DE LA RÉSISTANCE TOTALE EN FONCTION DE LA VITESSE AVEC LAQUELLE LES BATEAUX SE MEUVENT.

1° *Trouver les résistances antérieures qu'éprouve l'unité de surface qui se meut perpendiculairement à l'eau à diverses vitesses.*

A cet effet, je me servais d'abord de l'appareil dessiné fig. 10, pl. 2.

E D est un cylindre ouvert en D et dont le fonds C porte une douille recourbée Y B. Dans cette douille est fixé un tube de verre H B d'environ six lignes de diamètre. C D est assujéti horizontalement sous l'eau et maintenu à une profondeur constante pendant la durée du mouvement. Quand l'appareil est en repos, l'eau s'élève à la hauteur du niveau *m n*, dans le tube ouvert B A, muni d'un flotteur x. Ce flotteur est un bouchon de liége d'un diamètre un peu moindre que le tube de verre. Il fait corps avec un cheveu, dont le ressort ne l'empêche pas de monter avec l'eau, tandis qu'il le tient suspendu dans le tube quand le niveau s'abaisse. Il faut pour cela que le bouchon soit percé suivant son axe, afin que l'air supérieur puisse aller occuper l'espace que l'eau abandonne en s'abaissant.

Supposons que le mécanisme, précédemment décrit, entraîne

l'appareil C D ; l'eau qui entre par D s'élève alors dans B A à une hauteur d'autant plus grande, que la vitesse est plus considérable. Quand le mouvement est devenu uniforme, la vitesse connue est au maximum, et le flotteur x cesse de monter. Lorsque ensuite l'eau s'abaisse, x reste immobile ; alors sa hauteur H, au-dessus de la position première, indique l'élévation de l'eau, qui mesure l'excès de pression qu'ont supporté à la vitesse maximum chacun des points de la paroi CC.

Le mode d'expérimentation que nous venons de décrire ne donnait pas toujours les mêmes résultats pour les mêmes vitesses. Ces variations provenaient de ce que, malgré les soins qu'on avait mis à les perfectionner, les flotteurs ne s'élevaient pas toujours autant que l'eau, ou ne s'arrêtaient pas à la hauteur maximum. Pour nous mettre à l'abri de ces causes d'erreurs produites par l'action variable du cheveu et du ménisque d'eau qui s'élève entre le flotteur et le tube, j'ai fini par employer l'appareil décrit ci-dessous, dont je me servais déjà pour mesurer la réduction de pression.

DESCRIPTION.

La figure 9, planche 2, représente une coupe de l'appareil, faite par un plan vertical.

CC est un cercle qui doit se mouvoir dans une masse d'eau tranquille, de manière que le centre y soit toujours à la même

profondeur au-dessous du niveau $m\,n$. Ce cercle, percé en y, porte une douille B, courbée en équerre, dans laquelle on a fixé un tube ouvert et à trois branches A D F B. Supposons qu'on ait mis de l'eau par l'orifice A, jusqu'à ce que la branche AD, étant pleine, le liquide s'élève à la même hauteur dans D F, c'est-à-dire jusqu'au niveau du coude F : alors l'air, emprisonné dans B F, fait équilibre à l'atmosphère, et le niveau E, dans l'intérieur de B F, est sur le plan $m\,n$.

Pour que cette opération préliminaire, qui fournit des données communes à une même série d'observations, soit facile, il suffit qu'il y ait dans le coude F une très petite ouverture : quand on met de l'eau dans A D, l'air s'échappe par cette ouverture, que l'on bouche avec de la cire lorsque les branches D A et D F sont complètement remplies.

Cela posé, admettons que l'appareil se meuve en demeurant toujours à la même profondeur, de manière que l'eau refoulée s'introduise par y. L'excès de pression, se transmettant de bas en haut dans le tube B F, comprime l'air, qui fait dégorger par A l'eau contenue dans F D A.

Plus la pression contre l'ouverture y est forte, plus le niveau s'élève dans B F et s'abaisse dans F D.

Soient :

x, l'élévation du niveau dans BF;

h, l'abaissement du niveau dans F D;

F, la force élastique de l'air comprimé dans F B;

L, la longueur de la partie F E du tube supposé d'un égal diamètre dans toute sa longueur;

l, la profondeur y E;

P, la pression contre y quand l'appareil est en repos;

P', la pression contre y au moment de sa plus grande vitesse.

Pendant le maximum de vitesse, les conditions de l'équilibre, dans les trois branches de l'appareil, donneront :

$$(P = H + l \text{ étant l'équation à l'état de repos})$$

$$F = H + h$$
$$P' = F + l + x = H + h + l + x$$
$$P' - P = h + x$$

H étant le poids de l'air.

Pour déterminer x, nous remarquerons que les volumes de la même masse d'air, représentés par les longueurs qu'ils occupent dans le même tube calibré, sont en raison inverse des pressions qu'ils supportent.

Or, le volume était égal à L sous la pression H; il est devenu L + h — x sous la pression H + h, donc :

$$L\frac{H}{H+h} = L + h - x$$

$$\text{d'où } x = L + h - \frac{LH}{H+h} = h + L\frac{h}{H+h} \text{ et par conséquent}$$

$$P' - P = 2h + \frac{Lh}{H+h} = h\left(2 + \frac{L}{H+h}\right) \ldots . (a)$$

Cette formule ne contenant de variable que h, convient à une série d'expériences faites à divers maxima de vitesses, avec le même appareil dont les branches A D, D F ont été remplies avant d'être mises en mouvement.

Après chaque expérience, quand l'appareil est en repos, le niveau est plus abaissé au-dessous du point A qu'au-dessous du point F; la somme de ces deux abaissemens est précisément égale à l'abaissement h qui avait lieu dans A D quand l'eau de F D A a cessé de s'écouler par A.

h étant connu pour la vitesse *v*, la formule (*a*) fera connaitre l'excès de pression $P' - P = h \left(2 + \frac{L}{H+h}\right)$

Il est inutile de dire que dans chaque série d'expériences, il faut observer la hauteur barométrique H et la convertir en eau, dont on connait la température et le poids spécifique.

La table, page 59, des résultats obtenus montre que la résistance antérieure de l'eau, contre une surface qui s'y meut perpendiculairement, est proportionnelle au carré de la vitesse.

2° *Quand un disque se meut perpendiculairement à l'eau, trouver la résistance postérieure qu'il éprouve, ou l'affaiblissement de pression qui a lieu sur la face opposée à celle qui repousse l'eau avec une vitesse connue.*

L'appareil est semblable au précédent, avec la différence qu'il se meut de manière que l'ouverture y est opposée à la face B, qui repousse le liquide (les branches A D F étant pleines d'eau et la longueur F E contenant de l'air atmosphérique).

Supposons que le mouvement ait lieu de telle sorte que le disque soit toujours à la même profondeur au-dessous de $m\,n$.

L'ouverture y étant alors moins pressée qu'à l'état de repos, l'air extérieur abaisse dans A D l'eau qui se déverse par F dans la branche F B.

La vitesse étant devenue constante, représentons par

x, l'abaissement du niveau dans B F;

h, l'abaissement du niveau dans A D;

F, la force élastique de l'air dilaté dans F B;

L, la longueur de la partie F E du tube ouvert sous l'eau;

l, la profondeur y E;

P, la pression contre y quand l'appareil est en repos;

P', la pression contre y au moment de la vitesse maximum.

Dans ce moment les conditions de l'équilibre dans les trois branches de l'appareil donneront :

$$(P = H + l \text{ à l'état de repos})$$
$$\vdots$$
$$F = H - h$$
$$P' = F + l - x = H - h + l - x$$
$$P - P' = (h + x)$$

Pour déterminer x, nous remarquerons que l'air emprisonné occupait dans le tube calibré une longueur L sous la pression H.

Maintenant sa longueur est L + x sous la pression (H—h); donc, d'après la loi de Mariotte

$$L + x = L\frac{H}{H - h}$$

$$\text{d'où } x = \frac{Lh}{H - h} \text{ et par conséquent}$$

$$P - P' = \left(h + \frac{Lh}{H - h}\right) = h\left(1 + \frac{L}{H - h}\right) \ldots\ldots (b)$$

Cette formule (b) ne contenant que la variable h constante pour la même vitesse, peut servir à une série d'expériences faites pour déterminer la réduction de pression sur la face opposée au mouvement.

Après l'expérience, quand l'appareil est en repos, l'air devient moins dilaté dans BF, le niveau est abaissé au-dessous de F et plus encore au-dessous de A. La somme de ces deux abaissemens donne la valeur de h, qu'on substitue dans b pour avoir la valeur de P—P', correspondante à la vitesse constante v.

Le même appareil nous a servi pour:

3° *Mesurer le soulèvement d'un bateau qui se meut avec une grande vitesse.*

Au milieu et à égale distance du milieu et des extrémités d'un modèle de bateau, j'ai fait pratiquer dans la coque qui est de cuivre, trois ouvertures dont les centres sont dans la quille. Autour de chaque ouverture est soudée une virolle dans laquelle on fixe l'appareil de verre. L'orifice inférieur de la branche BF est presque au fond du canal dans la couche liquide que le mouvement doit à peine agiter.

La poupe étant retenue par un fil à un bout du canal, la proue est tirée par un fil opposé horizontal qui s'enroule sur la circonférence de la roue mise en mouvement par le mécanisme que j'ai décrit. Si l'on coupe le fil qui retient la poupe, le bateau est entraîné avec une vitesse que l'on mesure quand elle est devenue constante. Après l'observation, les trois appareils de verre étant immobiles, les niveaux, s'il y a eu soulèvement, doivent se trouver abaissés dans les branches AD, DF, qui étaient pleines. La somme de leurs abaissemens fait connaître la diminution de la force élastique de l'air contenue dans BF. Or, cette diminution n'a pu être produite que par l'élévation du bateau. La force élastique perdue fait connaître la longueur de la colonne d'air dans BF; de là on déduit par un calcul analogue au précédent l'élévation de l'appareil ou du point de la carène qui le porte.

Toutes les observations que nous avons faites avec ce modèle,

en lui donnant le maximum de vitesse que le mécanisme pouvait lui communiquer, nous ont montré les mêmes niveaux dans nos appareils avant et après chaque expérience.

J'ai pensé d'abord que le frottement de l'eau sous la cale, ou pour mieux dire que son impulsion oblique contre les orifices des tubes ouverts sous la quille qui pouvait être inclinée, compensait, dans nos appareils, l'aspiration due au soulèvement; pour m'en assurer, j'ai fait disposer au-dessus du canal, perpendiculairement à la ligne que le bateau parcourt, un fil horizontal aussi élevé que l'extrémité d'un mât fixé au centre du bateau. Ce dernier amené sous le fil, on élevait le mât jusques au contact avant de le fixer.

Les choses ainsi disposées, nous avons répété plusieurs fois nos expériences, et toujours le mât a passé sous le fil sans le toucher.

Enfin, pensant que la vitesse n'était pas encore assez grande pour qu'il y eût soulèvement, j'ai voulu pouvoir l'accroître à volonté.

A cet effet nous avons fait élever à une extrémité du canal une machine d'Athwood; cette machine a une très haute échelle graduée au sommet de laquelle est fixée une poulie parfaitement mobile.

Sur la gorge de cette poulie passe un fil très mince de cuivre rouge d'une flexibilité parfaite. Ce fil, tiré d'un côté par un poids, descend verticalement de l'autre côté pour passer sur une poulie de renvoi qui le dirige horizontalement vers le bateau sur

lequel on l'attache. Le poids qui tombe et le bateau qu'il entraîne étant liés par un fil inextensible, leur vitesse est commune.

Nous avons élevé le poids toueur jusqu'à une livre et demie; en le laissant tomber de trente-six divisions de cinq pouces chacune, il a fait parcourir au bateau quinze pieds dans cinq demi-secondes; le mât fixé au milieu a touché à peine le fil; l'appareil de la poupe semblait indiquer une élévation d'un millimètre, et celui de la proue indiquait un millimètre et demi. Ces indications se rapportent au maximum de la vitesse accélérée, lequel a dû être d'environ dix lieues à l'heure; il devenait complètement inutile de continuer ces essais.

N. B. Il semblerait résulter de là qu'il n'y a pas soulèvement quand la proue est très aiguë et tranchante comme celle de notre modèle, qui de plus s'enfonce peu.

Nous rapporterons la mesure des soulèvemens des navires qui font le service des canaux. Mais nous ferons observer dès à présent que le procédé qu'on a suivi pour cette détermination n'est pas, comme le nôtre, applicable aux grands bateaux qui naviguent en pleine mer.

4° *Mesurer la résistance due au frottement de l'eau contre une paroi plane ou cylindrique dont l'aire et la vitesse dans la masse liquide sont connues.*

La détermination de la résistance se faisant de la même ma-

nière pour les deux surfaces, je vais décrire le procédé suivi pour une surface plane.

Une planche bien dressée avait été imbibée d'huile pour empêcher l'introduction de l'eau; elle est lestée uniformément de manière à peser autant que le volume d'eau qu'elle déplace; on la fixe de champ sur deux règles immobiles qui pendent verticalement au dessous d'un modèle de bateau.

Cela fait, on mesure, comme il a été dit, les résistances P, P', P'', de la planche, du bateau et des supports, correspondantes aux vitesses V, V', V''.

Après cette première série d'observations on scie la planche de manière à enlever la portion qui dépasse les règles-supports. Soit S l'aire totale de la portion enlevée à la planche. Le poids de l'appareil étant encore le même que tout-à-l'heure, puisque la portion enlevée ne pèse pas dans l'eau, il est évident que la résistance totale sera devenue moindre de toute la quantité due au frottement sur la partie enlevée.

On fait une seconde série d'observations en modifiant les forces motrices jusqu'à ce qu'on obtienne des vitesses égales aux premières V, V', V''. Soient alors p, p', p'' les résistances correspondantes à ces vitesses. Les différences (P—p), (P'—p'), (P''-p'') mesurent exactement les résistances de l'aire S quand elle se meut avec des vitesses v, v', v''.

N. B. Pour rendre plus facile la mesure des longueurs parcourues, nous avons fait égale à o, mètre 5 la circonférence de la roue du bateau toueur sur laquelle s'enroule le fil de traction.

TABLEAU RÉSUMÉ

Des résultats obtenus par un grand nombre d'expériences faites à Londres dans la galerie nationale des sciences pratiques par l'auteur du mémoire en 1836.

Vitesses en mètres par seconde.	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	OBSERVATIONS.
Résistance directe antérieure pour un mètre carré en kilogrammes.	13,460	54,416	122,412	216,723	338,195	456,382	659,612	869,756	Dans plusieurs séries de mes expériences j'ai été secondé très utilement par M. Whitwell, ingénieur civil, et par M. Dent qui observait le temps écoulé au moyen d'un chronomètre fait dans ses ateliers.
Résistance directe postérieure ou réduction de pression pour un mètre carré en kilogrammes.	2,389	9,412	20,776	36,615	56,671	75,934	94,369	121,534	
Frottement latéral par mètre carré exprimé en kilogrammes.	0,0504	0,2185	0,4369	0,7315	1,0729	1,3655	1,8532	2,1459	

Parmi les résultats obtenus en 1797 et 1798 par la Société anglaise formée pour le perfectionnement de l'architecture navale, j'ai choisi les suivans afin que l'on puisse les comparer aux nôtres, et surtout pour donner la valeur des résistances de l'eau contre la proue et la poupe des bateaux à vapeur.

Vitesse par heure en milles marins.	1	2	3	4	5	6	OBSERVATIONS.
Vitesse par seconde exprimée en mètres.	0,514	1,029	1,543	2,058	2,572	3,086	
Résistance directe d'un mètre carré en kilogrammes.	15,6559	63,6517	143,24	253,45	394,00	564,50	
Frottement par mètre carré en kilogrammes.	0,0683	0,2303	0,4525	0,7562	1,1045	1,5076	
Résistance de l'avant, par mètre carré de base pour une proue de 4o° degrés.	4,2934	16,14	34,68	60,35	92,35	130,60	L'on trouvera dans l'ouvrage du colonel Beaufoy les résistances d'un grand nombre de proues et de poupes présentant des formes et des angles différens.
Réduction de pression à l'arrière, par mètre carré de base, pour une poupe dont l'angle est de 2o°.	2,976	11,17	24,24	42,15	64,58	92,20	

Expériences faites à Londres dans la galerie nationale des sciences pratiques par M. John Macneill, ingénieur civil, en 1633.

Poids du bateau chargé.	Espace parcouru avec une vitesse constante	Temps en secondes.	Milles par heure.	Puissance motrice en livres.	Force de traction ou poids attaché à la corde qui tire dans chaque expérience	Force de traction calculée d'après la loi du carré des vitesses.	Différence entre la théorie et l'expérience	OBSERVATIONS.
liv. 39 25	pieds. 30	6",6	2,087	liv. 1	liv. 0,468	liv. 0,468	0,0	L'on suppose qu'à cette vitesse l'expérience et la théorie donnent la même force de traction, et l'on calcule les autres forces en admettant qu'elles sont proportionnelles au carré des vitesses.
id.	id.		2,892	5	1,000	0.896	— 0,102	
id.	id.		3 290	10	1,716	1,162	— 0.656	
id.	id.		5,231	20	3 156	2 936	— 0,216	
id.	id.		7,196	40	5,612	6,561	— 0.251	—
id.	id.		9 607	60	6,500	9 912	+ 1.412	
53 06	id.	7",0	2.922	10	1,716	0,917	— 0 601	Le modèle de bateau qui a servi pour ces expériences pesait en livres, 19. Pour le rendre plus lourd, on le chargeait de poids que l'on plaçait au centre. Sa coque était de cuivre. Sa longueur = 10 pieds 2 pouces. Sa largeur dans le plan de flottaison = 8 pouces 8 lignes. Quand il était vide, il s'enfonçait dans l'eau de 1 pouce 3 lignes.
id.	id.		3,646	20	3,156	1.588	— 1,566	
22.19	id.	3"	6,818	20	3,166	4 992	+ 1,836	
id.	id.		6.763	20	3,166	4,912	+ 1,756	
39,25	id.	3",4	6,016	20	3 156	3,887	+ 0.731	
id.	id.		6 392	20	3,156	3,122	— 0 034	
id.	id.		7,521	40	5 612	6,078	+ 0.263	
id.	id.		11,180	70	9 663	13,424	+ 3.661	
id.	id.		11.918	80	11.217	16 260	+ 4 063	

Le 29 avril 1633. M. Macneill, assisté de plusieurs ingénieurs, fit un grand nombre d'expériences pour mesurer le soulèvement des bateaux de transport dans le Paddington-Canal.

EXPÉRIENCE :

Sur le bordage du bateau, des deux côtés du centre, et à diverses distances des extrémités, il avait fait établir des pièces horizontales de bois dépassant les bords de trois pouces. Chacune de ces pièces se terminait, au-dessus de l'eau, par une face verticale à laquelle on avait adapté une tige graduée. Un observateur, placé à côté de chacun de ces appareils, abaissait graduellement, jusqu'au niveau de l'eau, la tige qui servait à mesurer la hauteur du point de repère supérieur; la différence de hauteur de ces points, au dessus de l'eau, pendant la marche du bateau et quand il était immobile, donnait la mesure du soulèvement correspondant à chaque vitesse.

Vitesse en mètres par secondes. . .	1,341	2 7263	4,6936	4 8114	4 9626
Soulèvement du bateau en mètres. .	0 0	0 0254	0 0774	0.0774	0,6965
Charge du bateau en kilogrammes. .	1742	1742	2920	1742	836 kil

ÉQUATION DU MOUVEMENT DES BATEAUX A VAPEUR

(sans voiles).

Dans les calculs que nous allons faire, nous prendrons pour unités

Le mètre — le mètre carré — le mètre cube — le kilogramme — la seconde.

Soient :

r, la résistance antérieure éprouvée par un mètre carré de surface plane, qui se meut perpendiculairement à l'eau avec une vitesse de un mètre par seconde; r est proportionnel au carré de la vitesse.

B, l'aire du maître-couple, ou de la plus grande section transversale de la partie plongée du bateau.

β B, l'aire qui éprouverait autant de résistance que la partie antérieure de la carène, en se mouvant avec la même vitesse que le bateau et perpendiculairement à la masse liquide.

Le coëfficient constant β dépend de la forme de la carène.

b, l'aire dont le maître-couple diminue par le soulèvement du bateau dans les grandes vitesses.

R, la somme des résistances produites par le frottement, par les impulsions rétrogrades de l'eau contre la carène et par l'affaiblissement de sa pression contre la proue.

A, l'aire d'une des aubes que nous supposerons toutes égales dans les deux roues.

α A, l'aire dont le mouvement normal produirait une impulsion égale à celle des deux roues, sa vitesse étant la même que celle du centre d'action des aubes.

Le coëfficient constant α dépend du nombre et de l'étendue des aubes qui agissent à la fois sans se contrarier, ainsi que de la distance de leur centre d'action au centre de l'axe qui les porte.

C, la vitesse du courant, laquelle est positive ou négative selon que le bateau suit ou remonte le courant.

v, la vitesse du bateau.

V, la vitesse du centre d'action des roues à aubes.

$(v-C)$ étant la vitesse relative avec laquelle la carène repousse l'eau, et (B—b) l'aire du maître-couple, la résistance totale opposée à la marche du bateau est exprimée par

$$r\beta(B-b)\,(v-C)^2+R.$$

L'impulsion des aubes contre l'eau se faisant avec une vitesse relative égale à $V-v+C$, la puissance de cette impulsion doit être

$$r\alpha A\,(V-v+C)^2.$$

Quand le mouvement du navire est uniforme, la puissance et la résistance sont égales ; en sorte que

$$r\beta(B-b)\,(v-C)^2+R=rLA(V-v+C)^2 \;\ldots\; (1)$$

Cela posé, la force impulsive du centre d'action des aubes étant égale à

$$r\beta(B-b)(v-C)^2+R$$

et la vitesse du point d'application de cette force étant V, la quantité de mouvement qui anime les aubes se trouve représentée par

$$\{r\beta(B-b)(v-C)^2+R\}V\ldots(2)$$

cette quantité de mouvement provenant de l'action utile de la vapeur sur les pistons, il ne reste plus qu'à déterminer cette dernière, à la transporter au centre d'action des aubes et à l'égaler à (2).

EFFET DYNAMIQUE PRODUIT PAR UNE MACHINE A VAPEUR FONCTIONNANT A PRESSION PLEINE OU A DÉTENTE, AVEC OU SANS CONDENSATION.

La vapeur développée dans la chaudière afflue dans le cylindre pour aller presser le piston alternativement sur chacune de ses bases, et lui imprimer un mouvement de va-et-vient. Supposons qu'elle agisse par détente, c'est-à-dire qu'après avoir poussé, avec une tension constante, le piston durant une partie de sa course, la vapeur soit tout à coup isolée dans le cylindre ; qu'elle cesse alors de communiquer avec la chaudière pour continuer à pousser le piston en vertu de sa force élastique décroissante.

Soient :

B', l'aire de la base du piston ;

U, sa vitesse moyenne, supposée constante ;

L, la longueur de sa course ;

P, la force élastique de la vapeur contenue dans la chaudière ;

e, le poids de l'eau vaporisée par seconde ;

E, le volume de la vapeur produite par un kilogramme d'eau vaporisée sous la pression P ;

V, la vitesse du centre d'action de chaque aube.

D, le diamètre des roues pris au centre d'action.

Si la vapeur de la chaudière n'est point dilatée ni refroidie quand elle agit dans le cylindre, le piston est pressé par une force égale à B'P. Quand cette force constante lui a fait parcourir un espace l plus petit que L, l'effet produit est représenté par

$$B'Pl\cdot$$

Supposons que la vapeur soit alors interceptée, et apprécions l'effet qui résulte de son expansion. Pendant que la masse constante de la vapeur emprisonnée augmente le volume, sa force, graduellement décroissante, est en un instant quelconque, en raison inverse de l'espace occupé, en admettant qu'on la maintienne à la même température.

Or, cette force est P quand le volume ou l'espace occupé est B'L : ce dernier devenant $B'x$, la force devien-

dra P $\frac{l}{x}$, le piston sera donc pressé par B' P $\frac{l}{x}$, et la somme des effets produits par la détente aura pour valeur,

$$\int B'P\frac{l}{x}dx = B'Pl.\,Log.\,x + C,$$

Log. indiquant les logarithmes hyperboliques, C étant un coëfficient constant.

Pour déterminer C, nous remarquerons que la détente commence à $= x\,l$ et finit quand $x=$L ou quand le piston a parcouru toute sa course. L'intégrale ci-dessus, prise entre ces deux limites, deviendra

$$B'Pl.\,Log.\,\frac{L}{l}.$$

Tel serait l'effet produit par la détente si la vapeur ne se refroidissait pas en se débandant; mais, à cause de ce refroidissement, sa force élastique diminue plus rapidement qu'elle ne s'affaiblirait par l'accroissement du volume. La valeur ci-dessus est donc trop forte, et il faut la multiplier par un coëfficient constant ε que nous déterminerons par l'expérience. L'effet de la détente sera donc exprimé par ε B P l (1 + log. $\frac{L}{l}$); ajoutant l'effet primitif B' P l produit par la pression constante l'on obtient

$$B'Pl\left(1 + \varepsilon\,Log.\,\frac{L}{l}\right) \ldots (3),$$

formule qui devient B' P l quand $l=$L parce que la vapeur fonctionne alors à pression pleine, sans détente.

9

La formule (3) donne l'effet dynamique produit par la vapeur qui a fait accomplir une course au piston et dont le volume est B l sous la tension P.

La chaudière vaporisant e kilogrammes d'eau par seconde et chaque kilogramme fournissant un volume E de vapeur dont la force est P, la vapeur que la combustion développe sera évidemment eE. La puissance motrice, renouvelée à chaque seconde, sera

$$eEP.$$

Comme une portion considérable de cette puissance se perd par le refroidissement et par les fuites, tandis qu'une autre portion est uniquement employée à vaincre les frottemens et la résistance de la vapeur sortante, nous pouvons représenter la puissance effective, opérant sans détente, par

$$KeEP,$$

K étant un coëfficient constant donné par l'expérience pour chaque machine.

Mais si la chaudière fournit au cylindre un volume de vapeur égal à K e E, sous la tension P, cette vapeur, employée toute entière à mouvoir le piston, lui fera exécuter par seconde un nombre de courses représenté par $\frac{KeE}{Bl}$, ou bien encore elle lui fera parcourir, par seconde, un espace

$$K\frac{eE}{Bl}L=U \ . \ . \ . \ (4).$$

L'effet dynamique pour chaque unité de temps sera donc égal à

$$K\frac{eE}{Bl}BPl\left(1+\varepsilon\, Log.\frac{L}{l}\right)\ \ldots\ (5),$$

$$\text{ou bien } \frac{l}{L}BPU\left(1+\varepsilon\, Log.\frac{L}{l}\right)\ \ldots\ (6).$$

Cet effet se réduit à

$$KeEP \text{ ou à } BPU$$

quand $l = L$. Alors la machine agit à pression pleine.

Pour transporter la force qui anime le piston dont la vitesse est U, au centre des aubes dont la vitesse est V, il suffit d'exprimer que ce transport ne change point la quantité de mouvement; cela suppose que la machine est sans frottement, ou que les frottemens de l'axe sont compris avec tous les autres dans le coëfficient K. Or, le piston parcourt 2 L quand les roues font un tour, en sorte que

$$\frac{U}{V}=\frac{2l}{\pi D};\ U=\frac{2l}{\pi D}V.$$

Si donc l'on met pour U sa valeur dans la formule (6), l'on aura

$$\frac{2B'Pl^2V}{\pi DL}\left(1+\varepsilon\, Log.\frac{L}{l}\right)\ \ldots\ (7)$$

pour les machines à un cylindre.

Si la machine a deux cylindres et que la quantité d'eau vapo-

risée par la chaudière soit double, la puissance deviendra le double de (7), ou bien

$$\frac{Pl^2}{DL} d^2 V \left(1 + \iota \, Log. \frac{L}{l}\right) \ldots (8),$$

en substituant à la place de $\frac{4B^2}{\pi}$ le carré d^2 du diamètre des pistons.

Cette quantité de mouvement qui anime le centre d'action des aubes étant égale à la résistance (2), opposée par l'eau au mouvement du même point, l'on doit avoir, en divisant par V,

$$\frac{P}{DL} l^2 d^2 \left(1 + \iota \, Log. \frac{L}{l}\right) = r\beta (B-b)(v-C)^2 + R \ldots (9),$$

équation qui, combinée avec

$$r\beta (B-b)(v-C)^2 + R = r\alpha A (V-v+C)^2 \ldots (1)$$
$$KeEL = B'lU \ldots (4),$$

donne la solution des problèmes qu'on peut proposer sur les bateaux à vapeur naviguant par l'impulsion des roues à aubes, sans le concours de voiles.

FORMULES NUMÉRIQUES.

Si l'on veut rendre ces formules immédiatement applicables aux bateaux à vapeur, il faut substituer à la place des coëfficiens leurs valeurs, et remplacer

$$\text{Log.}\ \frac{L}{l}\ \text{par}\ 2{,}3028\ \text{log.}\ \frac{L}{l}$$

pour passer des logarithmes hyperboliques indiqués par Log., aux logarithmes tabulaires désignés par log.

R. Nous avons trouvé que la résistance antérieure de l'unité de surface se mouvant dans l'eau avec l'unité de vitesse.... $r = 54{,}426$ kilogrammes.

β. Le coëfficient de réduction du maître-couple, le nombre qui fait connaître la résistance antérieure du bateau dont on connaît l'aire B, en un mot, β paraît avoir pour les bateaux qui ont la meilleure forme de proue les valeurs consignées dans nos tableaux.

b. Ces mêmes tableaux indiquent la quantité *b* dont l'aire du maître-couple peut diminuer à diverses vitesses par le soulèvement.

R. L'on y trouve aussi les unités du frottement et de la réduction de pression. Connaissant l'aire frottée par l'eau et l'aire de la proue, une simple multiplication donne leurs valeurs, dont la somme égale R.

N B. Dans cette dernière, ne sont pas comprises les impulsions rétrogrades que l'eau soulevée par les aubes donne à la carène. Ce genre de résistance, qui est très grande dans les bateaux à vapeur, ne saurait être déterminée généralement; car elle est variable selon la disposition des aubes.

Il est aisé de voir, à l'inspection de nos plans, que l'impulsion

rétrograde de l'eau sera négligeable dans le système de bateaux à vapeur que nous proposons.

α. Il reste à déterminer expérimentalement la valeur de α, qui demeure inconnue dans l'équation générale donnée par M. Marestier et autres, du moins autant que je puis me le rappeler, car je n'ai pas à Londres leurs ouvrages.

ε. Il en est de même de ε, que ne sauraient remplacer les belles formules données par M. Poisson et par M. Navier, pour qu'on puisse tenir compte du refroidissement de la vapeur quand elle se détend.

Il y a des différences par trop grandes entre les résultats donnés par des expériences précises et ceux fournis par les formules dans lesquelles notre puissant analyste, M. Poisson, a dû employer le premier des coëfficiens dont les valeurs doivent être inexactes.

DÉTERMINATION DE α.

M. Payne, directeur de la Galerie nationale « of practical science », ayant bien voulu mettre à ma disposition un modèle de bateau, dont les roues à aubes sont mues par un mécanisme à grand ressort, je fis construire une caisse rectangulaire dans laquelle le bateau se loge exactement. Pour que la marche de la caisse portant le bateau se fît en ligne droite dans le canal (fig. 10), j'avais fixé aux deux bouts de la carène deux règles transversales, terminées chacune par un petit rouleau : ces rou-

leaux mobiles, s'appuyant contre la cloison rectiligne du canal, maintenaient la quille du bateau parallèle à la cloison.

Le ressort étant monté, son action faisait tourner les roues à aubes, et on laissait parcourir une grande distance au bateau, afin de ne compter le temps et l'espace parcouru que lorsque le mouvement était devenu uniforme.

Dans toutes nos expériences, nous laissions parcourir au bateau une distance de trente pieds, qu'il franchissait avec une vitesse constante dans un temps plus ou moins court. Pendant ce temps, nous comptions le nombre de tours exécuté par une des aubes qui portait un index. Connaissant la distance du centre de l'axe manivelle aux centres d'actions des roues à aubes, le nombre de tours de roues, faits dans un temps connu, nous donnait la vitesse V des aubes, et les trente pieds parcourus nous faisaient connaître aussi la vitesse v du bateau.

Or, l'impulsion des aubes étant égale à

$$r\alpha A(V-v)^2$$

et la caisse rectangulaire, dont la paroi antérieure présente à l'eau une surface d'une étendue B, éprouvant une résistance qui a pour valeur

$$r\beta B v^2 + R,$$

nous devions avoir l'équation

$$r\beta B v^2 + R = r\alpha A(V-v)^2.$$

puisque la puissance et la résistance sont égales dans les mouvemens uniformes. Dans cette équation tout était connu, d'après nos expériences précédentes et les données actuelles de nos observations, excepté α.

L'on trouvera ci-dessous les résultats obtenus par un grand nombre d'expériences, parfaitement concordantes, faites à diverses vitesses sur le même bateau, poussé par des aubes de différentes sortes.

DIMENSIONS DU MODÈLE DE BATEAU QUE NOUS AVONS EMPLOYÉ.

Longueur du bateau = 1 mètre 72; largeur du bateau = 0 mètre 279.

Dans chaque roue il y a huit aubes de longueur = 0 mètre 056, de largeur = 0 mètre 018.

Le diamètre du centre d'action des aubes = 0 mètre 141.

La plus grande force du mécanisme à ressort transportée au centre d'action des aubes = 0 kilog. 122.

Chaque aube fait vingt-sept tours, pendant que le premier pignon, avec lequel on monte le ressort, décrit une circonférence entière.

EXPÉRIENCE POUR DÉTERMINER α.

Ce bateau étant placé dans une caisse horizontale rectangu-

laire, la fait plonger dans l'eau d'une quantité représentée par h = 0, 208 mètres.

La largeur de la caisse l = 0,292 mètres.

L'aire de la proue, de la poupe ou du maître-couple lh = 0,0607 mètres carrés.

La longueur de la caisse L = 1,72 mètres.

La surface de frottement 2 L l = 1,004 mètres.

La caisse rectangulaire, poussée par les roues à aubes du bateau, a parcouru, en ligne droite dans le canal, un espace de 9,115 mètres en 115 secondes.

Avec une vitesse constante, le centre d'action de chaque aube a fait 150 tours pendant les 115 secondes, en sorte qu'il a parcouru 0,443 × 150 = 66,45 mètres en 115 secondes.

Il résulte de là que dans la formule

$$r\beta Bv^2 + R = r\alpha A(V-v)^2$$

$v = 0{,}079$	$B = 0{,}0607$
$V = 0{,}578$	$\beta = 1$
$V - v = 0{,}499$	$r = 13^k{,}46$ kilogrammes.
$A = 0{,}001$	$R = 0{,}0048$

R = Résistance à la poupe plus frottement = 0,0042 + 0,0006, valeur calculée approximativement d'après nos tables.

En substituant ces valeurs dans la formule et faisant le calcul, l'on obtient

$$0{,}000745 = 0{,}000249\,\alpha,$$

$$\text{d'où } \alpha = \frac{745}{249} = 2{,}991.$$

Si l'on suppose un bateau à vapeur poussé successivement par des roues de dimensions différentes, mises en mouvement par la même machine, l'on déduira des équations que nous avons trouvées, l'aire et le diamètre des aubes qui donneraient le maximum de vitesse au bateau.

Nous avons essayé de résoudre ce problème par l'expérience, tout en cherchant l'immersion la plus avantageuse des aubes.

EXPÉRIENCES SUR LES AUBES.

Le petit bateau était retenu par un fil au centre de l'un des deux bassins qui terminent le canal et qui ont un diamètre de 4,57 mètres.

La longueur du fil était de 1, 83 mètres; en sorte que le point constant auquel on l'attachait décrivait, en tournant dans le bassin, une circonférence de 11 mètres 49 centimètres.

RÉSULTATS.

Le mécanisme à ressort fait tourner le bateau autour du bassin, au moyen de roues à aubes de dimensions différentes, ou plongeant différemment.

NOMBRE des aubes.	Rapprochées ou éloignées de la carène.	Diamètre pris au centre d'action.	Aire des aubes en mètres carrés.	Espace parcouru en mètres	TEMPS en Secondes.	OBSERVATIONS.
8	rapprochées	mètres. 0,141	0,001	11,49	40,0	Une aube étant verticale, les deux voisines affleurent l'eau.
8	éloignées	0,141	0,001	11,49	41,0	Idem.
10	rapprochées	0,19	0,002	11,49	55,5	Deux aubes étant dans l'eau, les deux voisines affleurent.
10	éloignées	0,19	0,002	11,49	58,0	Idem.
5	rapprochées	0,19	0,002	11,49	51,0	Une aube étant verticale, les deux voisines affleurent l'eau.
5	éloignées	0,19	0,002	11,49	53,0	Idem.

Conséquences.

1° Les grandes roues, produisant moins d'effet, doivent avoir trop de hauteur ou des aubes trop étendues; pour séparer ces deux causes, il aurait fallu faire varier successivement l'aire, puis la hauteur des aubes. Je n'ai pas eu le temps de le faire.

2° Les roues produisent le maximum d'effet, quand une aube étant verticale, les deux aubes voisines (immergente et d'immersion) touchent au niveau de l'eau.

3° Les aubes produisent moins d'effet quand elles sont éloignées de la carène; ce résultat opposé à celui que j'attendais tient au mouvement circulatoire du bateau. Quand ce dernier se meut en ligne droite, l'effet produit par les aubes est plus grand, quand elles sont convenablement éloignées pour diminuer le frottement.

DÉTERMINATION DE ε.

Pour connaître ε nous avons mesuré directement la force élastique de la vapeur qui se détend sans recevoir de calorique.

A, fig. 13, représente un grand ballon de verre dont le col est entouré d'une douille qui porte trois tubes à robinet 1, 2, 3; le premier de ces tubes communique, par un tuyau de plomb, avec une machine pneumatique; le second porte un long tube gradué, plongeant dans un bain de mercure pour servir de manomètre; le troisième est adapté à un vase contenant le liquide qui doit fournir la vapeur. Un deuxième ballon B, muni d'un robinet 4 surmonté d'un ajutage rodé, se raccorde hermétiquement au centre de la douille pour communiquer avec A, dont on peut l'isoler.

A est plongé dans une cuve de fer-blanc pleine d'eau saturée de sous-carbonate de potasse, qui bout à 138° centigrades. L'on échauffe la cuve à l'aide d'un fourneau qui la porte. Pendant que la température du bain-marie s'élève, les ballons communiquent entre eux et avec C: l'on fait agir long-temps la machine pneumatique, afin d'enlever tout l'air contenu dans A et B; alors l'on intercepte la vapeur qui de C affluait dans le ballon; l'on fait encore agir la machine pneumatique, puis l'on isole B en fermant le robinet 4.

Dès cet instant l'appareil est disposé pour une série d'expériences: l'on commence les observations à la température la plus faible, qui est de cent degrés. L'on ferme le fourneau afin d'avoir

une température constante pour chaque expérience, dont la durée ne dépasse jamais trois minutes. (Cette constance est d'ailleurs indiquée par deux thermomètres plongés dans la grande masse liquide qui sert de bain-marie.) Une observation faite, on pousse le feu plus loin; on maintient de nouveau la température constante et l'on observe les résultats comme il est dit ci-dessus.

Nous avons ainsi opéré de dix en dix degrés, depuis cent jusqu'à 138 degrés, terme de l'ébullition de l'eau de potasse.

DÉTAIL DE CHAQUE EXPÉRIENCE.

L'on remplit A de vapeur, en ouvrant le robinet 3, que l'on ferme quand la force élastique a une valeur moindre que celle qui correspond à la température du bain. Après avoir observé pendant quelque temps l'immobilité du manomètre, on est sûr que la vapeur a pris la température de l'enceinte de verre, et que celle-ci ne contient pas de liquide puisque la vapeur *y* est dilatée. Alors on ouvre un instant le robinet 4, une portion de la vapeur s'élance dans B, et l'on ferme ce robinet. Aussitôt l'on observe la force élastique f, donnée par le manomètre. Dès-lors le mercure, redescendant peu à peu, montre que l'élasticité de la vapeur augmente par le réchauffement dû au contact de l'enveloppe; après deux minutes au plus, la force devient égale à F.

Or, le grand volume de la vapeur emprisonnée, son peu de

conductibilité, la faible différence de sa température à celle de l'enveloppe, doivent rendre négligeable le réchauffement dû au contact du verre, pendant la très faible durée de l'écoulement, qui ne dure guère qu'une ou deux secondes. Donc (F — f), indique l'effet dû au refroidissement qu'on peut dès-lors calculer. En prenant la moyenne de quatre observations faites entre 100 et 138 degrés pour des dilatations que nous faisions varier de un à deux et de un à trois, afin de nous rapprocher des limites les plus usitées de la détente, nous avons trouvé que la force réelle de la vapeur qui se dilate, sans recevoir de calorique, est les $\frac{93}{100}$ de sa force, quand la température est maintenue constante.

D'après cela, l'on peut admettre pour la pratique

$$\varepsilon = 0{,}93,$$

valeur sinon exacte, du moins très approchée.

La détermination de tous les coëfficiens contenus dans les équations générales des bateaux à vapeur permet de résoudre tous les problèmes qu'on peut se proposer sur ces belles machines.

BATEAUX A VAPEUR ET A VOILES.

Indépendamment de leurs machines, les bateaux à vapeur qui naviguent sur mer ont des voiles qu'on déploie quand le vent est

favorable. Pour avoir les équations du mouvement, il faut ajouter aux impulsions des aubes contre l'eau, les impulsions du vent contre les voiles.

Soieut :

S, l'aire totale des voiles opposées normalement au vent.

V', la vitesse du vent dans la direction du bateau.

r', l'impulsion de l'air agissant perpendiculairement sur un mètre carré de voiles avec un mètre de vitesse.

L'effet produit par le vent sera, dans la pratique, représenté par

$$Sr'(V'-v)^2$$

et les équations trouvées deviendront

$$r\beta(B-b)(V-C)^2+R+r'S(V'-v)^2=r\alpha A(V-v+C)^2$$

$$\frac{P}{DL}l^2d^2\left(1+\varepsilon \, Log. \frac{L}{l}\right)=r\beta(B-b)(V-C)^2+R.$$

Ces formules générales se simplifient dans chaque cas particulier. En mer C = o, b = o, les autres coëfficiens sont connus. r'=o,1211 kilogrammes, les voiles étant supposées impénétrables par l'air, dans la réalité, r' doit être plus petit.

Après avoir complété la théorie des bateaux à vapeur, nous allons indiquer rapidement les vices nombreux des systèmes actuels, et nous tâcherons de trouver pour chaque défaut un moyen de l'éviter.

1° *Formes des navires.*

Je ne puis rien dire sur la forme des navires que l'expérience des siècles et l'habileté de nos ingénieurs de la marine ont tant perfectionnée. Je ferai observer seulement qu'une série d'expériences, faites par le colonel Beaufoi, semblent prouver que, avec la forme actuelle de la proue et de la poupe, la résistance devient moindre lorsque la plus grande largeur du navire est du côté de la proue aux deux cinquièmes de la longueur totale.

Comme dans les bateaux actuels l'axe des roues à aubes est un peu en avant du centre de gravité, il en résulte qu'on ne pourrait adopter la forme indiquée par le colonel sans avancer trop les aubes.

Cet avantage de la forme, si des expériences plus en grand viennent la confirmer, pourrait être conservé dans notre système qui a deux paires d'aubes disposées comme il est dit dans la seconde partie de ce Mémoire.

2° *Des roues à aubes.*

Nous avons déjà dit que, de tous les moyens de transformer l'action du moteur en impulsion contre l'eau, le système des roues à aubes a été trouvé le meilleur. Les observations faites de 1820 à 1830, par une compagnie anglaise, nous dispensent de nous occuper des rames, des vis d'Archimède et des mouvemens

par recul produits par le repoussement de l'eau dans un canal placé sous la quille, ou par son écoulement d'une hauteur à laquelle la force motrice l'élèverait à mesure. Pour éviter la perte de force due à la masse d'eau soulevée par l'émersion des aubes, l'on a imaginé de les rendre mobiles, de manière qu'à leur émergence elles présentent leur épaisseur aux liquides qu'elles repoussent.

W. MARSH a proposé de donner à chaque aube un axe horizontal, autour duquel elle tourne pour sortir verticalement de l'eau.

A cet effet, l'axe de rotation de chaque aube, est terminé d'un côté par une roue qui s'engrène avec une autre roue dentée plus grande, et unie constamment avec elle pendant le mouvement général. Toutes les grandes roues dentées engrènent avec un pignon commun faisant corps avec le grand axe des roues à aubes. La rotation de ce dernier se transmet par le pignon qu'il porte à chacune des roues qui terminent l'axe de chaque aube, de façon que l'émergence a lieu verticalement. Il n'y a rien de bon à dire sur un pareil système, ni sur aucun des engrenages qu'on a ou qu'on pourra proposer à cet effet.

RICHARD CREED a imaginé de diviser la longueur de chaque aube, en quatre parties mobiles chacune autour d'un axe particulier transversal.

Quand l'aube frappe l'eau, ses quatre parties sont dans un

même plan et forment une surface continue. Un peu avant l'émersion les quatre parties de chaque aube tournent, se séparent et deviennent verticales, afin de laisser passer l'eau entre elles.

Pour produire cet effet, M. Creed a lié à une traverse horizontale, les bras à manivelle que porte chacune des quatre portions de la même aube. Chaque traverse est terminée par un rouleau qui s'appuie contre une surface verticale fixe et à double courbure. La courbure est telle que, dans le mouvement général de rotation, les rouleaux impriment aux traverses, qu'ils terminent, un mouvement de va-et-vient. Ce mouvement amène dans un plan commun les portions d'une aube, qui va frapper l'eau par une surface continue, et il leur donne quatre positions verticales séparées, entre lesquelles passe l'eau qui eût été soulevée.

L'observation précédente s'applique au système de Richard Creed.

W. Cooper a pris une patente pour des aubes mobiles autour d'un axe horizontal muni d'une manivelle. Cette dernière est attachée à la circonférence d'une roue excentrique, qui fait tourner l'axe de chaque aube pour qu'elle sorte verticalement.

Ce système est analogue aux excentriques employées dans quelques bateaux français. Un grand nombre d'inventeurs se le disputent, quoique, à vrai dire, son importance soit nulle, excepté peut-être dans les canaux ; car si l'on évite les résistances dues à la masse d'eau soulevée, le calcul montre qu'on emploie une

portion à peu près équivalente de la force motrice, pour faire tourner les excentriques et les axes des aubes. Ce système complique donc inutilement le mécanisme.

GEO-CARTER. Si je devais employer des excentriques, je préférerais à tous les autres le système ingénieux et pourtant inappliqué de Geo-Carter.

Les aubes qu'il propose ont la forme d'un paraboloïde, dont le sommet plus rapproché de l'axe est fermé par une vanne à coulisse.

La vanne qui ferme le sommet de chaque aube porte une queue fixée à une excentrique très petite, faisant corps avec le grand axe de rotation. L'excentricité est telle, que, lorsqu'une aube va sortir, la vanne se retire et l'eau peut s'écouler entre les branches de l'aube parabolique, dont le sommet n'est plus fermé.

E. GALLEWOY. Pour éviter les pertes de force qu'entraînent les mécanismes qui font pivoter les aubes, M. E. Gallewoy a eu le premier l'idée heureuse de diviser la largeur de chaque aube en cinq bandes plus étroites, placées en échelons les unes derrière les autres. Quand les cinq portions de l'aube sont dans l'eau, elles la frappent comme si leur surface totale était continue; mais à mesure qu'elles s'approchent de leur émergence, les intervalles qui les séparent permettent à l'eau de s'écouler entre eux au lieu d'être soulevée.

Maudslay et Field. Ces constructeurs habiles ont perfectionné le système précédent, en donnant aux échelons une disposition plus convenable et une largeur croissante, à mesure qu'ils se rapprochent de l'axe.

Ainsi disposées, ces roues à aubes doivent avoir la préférence sur toutes les autres, pour éviter l'inconvénient du soulèvement de l'eau.

Toutefois elles produisent encore des ondes transversales qui augmentent considérablement le frottement latéral; comme les autres, elles agissent contre l'eau par des chocs successifs, qui sont nuisibles aux machines et aux passagers; enfin, en repoussant rapidement, par une large surface, le liquide qui porte le bateau, elles augmentent l'aire du maître-couple en faisant des creux que l'eau environnante n'a pas le temps de remplir.

AUBES PROPOSÉES PAR L'AUTEUR DU MÉMOIRE.

Pour éviter ces derniers inconvéniens, ainsi que le premier, j'ai proposé un système qui se trouve décrit dans la seconde partie de mon Mémoire. Il consiste en deux paires de roues à aubes, se mouvant simultanément : ces quatre roues égales sont de même diamètre que celles en usage, mais elles sont deux fois plus étroites. Pour que les aubes de l'avant ne lancent pas l'eau contre celles de l'arrière, les premières roues sont éloignées de la carène de toute la largeur des aubes de derrière.

3° *Puissance motrice.*

La quantité de vapeur que la combustion développe par seconde dans la chaudière produit une puissance motrice que nous avons exactement exprimée par la formule (5)

$$KeEP\left(1 + \varepsilon \log. \frac{L}{l}\right) \ldots (5),$$

qui devient

$$KeEP\left(1 + 2{,}1416 \log. \frac{L}{l}\right) \ldots (5),$$

en y faisant 0,93 = ε, et en substituant les logarithmes tabulaires aux logarithmes naturels.

Quand la vapeur agit à pression pleine L = l et la formule (5) se réduit à

$$K'eEP \ldots (10);$$

alors on perd tout l'effet dynamique dû à la détente et à l'excès de tension de la vapeur de sortie, qui s'échappe avant d'avoir été préalablement dilatée autant que dans (5), en sorte que K est plus grand que K'.

Si les machines ont un condenseur, elles fonctionnent à pression P', pleine et basse, auquel cas la formule (5) devient

$$K''eE'P' \ldots (11),$$

en tenant compte, dans le coëfficient général K, de la faible ten-

sion qui a lieu dans le condenseur, et de la force nécessaire pour faire agir la pompe à air; K devient alors K''.

Si l'on substitue dans les formules (5), (10), (11), à la place des coëfficiens K, E, P, L, l, leurs valeurs numériques, connues pour chaque température et pour le même cylindre, on trouvera une grande économie en faveur des machines à pression haute et à détente; cette économie devient encore plus grande, quand on condense la vapeur, sans compliquer le mécanisme, comme le fait l'auteur dans les machines décrites dans la deuxième partie de son Mémoire.

Malgré l'évidence des choses, il s'est élevé des doutes dans quelques bons esprits sur l'économie de la détente. Ces doutes proviendraient d'expériences faites avec la même machine, à l'effet de comparer les dépenses de combustible quand la vapeur agit avec ou sans détente.

Je crois devoir faire observer ici que des expériences ainsi faites ne peuvent rien prouver; car il aurait fallu, pour rendre la comparaison exacte, que dans les deux cas la température de la vapeur et la vitesse du bateau eussent été les mêmes (puisqu'on ignorait alors les variations de la résistance de l'eau, correspondantes aux variations de vitesses dont on ne pouvait pas conséquemment tenir compte). Or, il est évident que cette double condition est impossible avec les mêmes cylindres; la même vapeur ne saurait pousser le même piston aussi vite quand elle se détend que lorsqu'elle agit à pression pleine.

En admettant que les expériences faites de toutes parts depuis long-temps, n'aient pas encore appris le chiffre exact de l'excès de puissance ou de l'économie que donne la vapeur, travaillant à haute pression, l'on ne peut cependant pas douter que l'économie ne soit grande.

Mais si la puissance n'est pas employée tout entière, comme cela a lieu dans les machines sans condensation ni détente, il n'est pas étonnant qu'on ne la trouve pas plus forte que dans les machines à basse pression, dans lesquelles la vapeur est en plus grande part utilisée.

Quant à la comparaison entre les machines condensantes à pression haute et basse, il est clair qu'on ne peut point la faire avec leurs chaudières différentes; car si dans les premières qui ont des chaudières cylindriques, le mécanisme est mieux disposé pour profiter de l'économie que donne une température élevée, les chaudières rectangulaires des secondes absorbent mieux le calorique dégagé par la combustion : cela tient à ce que leurs foyers étant complètement entourés d'eau, le calorique, transmis au liquide par le contact des parois avec le combustible enflammé, est plus grand, et le calorique rayonnant est absorbé plus complètement dans les chaudières rectangulaires.

Les machines de l'auteur sont à pression moyenne, à détente, à condensation, et néanmoins très simples; sa chaudière fumivore et à l'air chaud donne une combustion économique et vive; le calorique transmis par contact est considérable, et le calorique

rayonnant s'élance sur une surface de chauffe qui l'absorbe tout entier, et qui est d'une étendue immense, quoique la chaudière soit légère.

4° *Chaudières.*

Pour que les chaudières soient les meilleures possible, il faut :

1° Qu'elles soient simples, légères, durables, faciles à réparer;

2° Que leur épaisseur et leur capacité ne dépassent pas trop les dimensions que le calcul indique, afin que le calorique transmis soit le plus grand et le refroidissement le plus faible possible;

3° Que la combustion soit rapide, complète, et le tirage fort, avec la condition que la température de la fumée qui s'échappe, n'excède pas trop celle de la chaudière.

4° Il faut que leurs parois métalliques ne puissent pas être percées par un coup de feu, et surtout que toute explosion soit *physiquement impossible.*

Aucune des conditions précédentes n'est remplie dans les chaudières actuelles.

Elles sont d'une étendue considérable et très pesantes, parce qu'elles contiennent trop d'eau. — Elles ne durent que trois ans et souvent beaucoup moins, parce qu'elles sont brûlées dans les parties qui se couvrent de dépôts séléniteux et autres. — La fumée qui s'échappe emporte une masse infructueuse de com-

bustible. — Enfin, la crainte d'une explosion fait employer deux soupapes énormes, dont la moins grande doit s'ouvrir par un léger accroissement de la force motrice. Il résulte de là que cette soupape est continuellement soulevée, parce que la combustion est irrégulière, en sorte que la vapeur qui se perd peut être évaluée de quinze à vingt-cinq pour cent dans la navigation sur les rivières.

NIVEAU DE L'EAU.

Cependant, malgré cette perte considérable, une explosion peut avoir lieu. Souvent elle a pour cause le manque d'eau, qui permet au calorique de s'accumuler sur les parties de la chaudière, léchées en dehors par la flamme et non mouillées en dedans. En ce cas, si une des causes connues amène l'eau en contact avec une certaine étendue de la paroi, ayant un suffisant excès de température, l'explosion doit avoir lieu nonobstant les soupapes et les plaques fusibles.

Dans les chaudières des bateaux les agitations empêchent l'usage des flotteurs qui maintiennent le niveau constant. Cette constance dépend alors uniquement de l'attention du chauffeur, qui, à l'aspect d'un tube indicateur, ou en ouvrant des robinets d'épreuve, sait s'il doit arrêter le jeu d'une des pompes alimentaires, ou la faire agir en l'unissant aux mouvemens du mécanisme. La chaudière pouvant éclater ou être brûlée par l'inattention du chauffeur, il est d'une haute importance que les pompes

alimentaires se règlent d'elles-mêmes et fonctionnent convenablement.

Les machines de l'auteur possèdent ce grand avantage, comme on le verra par la simplicité de l'appareil qu'il a décrit dans la seconde partie de ce Mémoire.

DÉPÔTS SÉLÉNITEUX.

La constance du niveau n'empêche pas l'explosion des chaudières, dont les parois se sont échauffées considérablement au-dessous d'une croûte de dépôts salins ou terreux.

Pour prévenir l'explosion, quelle qu'en puisse être la cause, je me sers d'un appareil simple, peu coûteux, et qui désormais devrait ne laisser aucun doute sur son efficacité.

Toutefois, malgré les expériences nombreuses faites pendant trois mois en présence de plusieurs membres de l'Institut et de deux comités nommés par la Société d'encouragement et par le ministre du commerce, nonobstant l'approbation unanime et formelle de tant de témoins des résultats obtenus, je sais que des savans, dont je désire l'approbation, doutent encore. La raison qu'ils donnent est qu'on ne connaît pas toutes les causes d'explosion. Je suis donc forcé de rappeler ici les résultats de mes recherches, dont la plupart, faites il y a cinq ans, ont été couronnées par l'Institut en 1833. Je crois avoir établi d'une manière certaine tous les phénomènes qui peuvent se passer dans les générateurs de la vapeur.

DES CAUSES QUI FONT ÉCLATER LES CHAUDIÈRES A VAPEUR.

Pour s'expliquer les causes d'explosion des chaudières à vapeur, il faut avoir observé les phénomènes qui se passent avant et pendant l'ébullition des eaux potable, privée d'air, saturées de sels.

ÉBULLITION DE L'EAU COMMUNE.

Les liquides contiennent de l'air qui joue un rôle important dans leur vaporisation. Nous allons, avant tout, examiner les effets qu'il produit dans l'eau qui s'échauffe, et mesurer le volume qui s'en dégage depuis la température atmosphérique jusqu'à l'ébullition.

On remplit d'eau potable un ballon de verre à deux tubulures, fermées par deux bouchons qui portent, l'un un thermomètre *t*, l'autre un tube de dégagement. Ce dernier est ouvert sous une cloche graduée pleine de mercure, et renversée sur une cuve hydrargyro-pneumatique. Le ballon est plongé dans un bain d'eau saturée de sous-carbonate de potasse, contenue dans un vase de cristal placé sur un fourneau dont le feu se règle à volonté. Un deuxième thermomètre T, plongé dans l'eau de potasse, est destiné à faire connaître la température de ce bain-marie. On allume le fourneau. Le calorique se transmet jusqu'a la couche d'eau qui mouille la paroi interne du ballon. Tant que cette couche est adhérente au verre, le calorique ne se propage

point dans l'intérieur de la masse liquide, parce qu'elle est très peu conductrice de la chaleur. Cependant l'air contenu dans la première lame d'eau s'échauffe et il augmente de volume. Vers le trentième degré du thermomètre t, il s'arrondit en bulles très petites d'abord, mais qui gonflent à vue d'œil malgré l'affinité du verre et la pression qu'elles supportent. Vers le 50e degré, les bulles se détachent et s'élèvent en entraînant l'eau chaude; celle-ci est remplacée à l'instant par une autre couche froide qui s'échauffe pour s'élever à son tour avec l'air qu'elle contient; en sorte qu'il se forme des courans ascendans d'eau chaude, et des courans descendans d'eau froide, laquelle va puiser sur la surface de chauffe beaucoup plus de calorique que ne lui en a communiqué le liquide ascendant.

A mesure que l'air se sépare de l'eau, il passe par le tube de dégagement pour aller s'emprisonner dans la cloche graduée. Après quelques minutes d'ébullition, il cesse de se dégager, et son volume à la température et sous la pression atmosphérique est le $\frac{1}{25}$ environ du volume liquide qui le contenait.

Si pendant que l'eau bout on diminue la pression qu'elle supporte, ce qui peut se faire en abaissant la cuve à mercure, il s'en dégage de nouvelles bulles d'air.

Si au contraire on augmente la pression en élevant le niveau du mercure dans la cuve, il faudra chauffer l'eau du ballon au-delà de cent degrés pour la faire bouillir : quand elle est à $100+\alpha$ degrés, si on la ramène sous la pression atmosphérique, on lui

fera dégager de nouvelles bulles d'air. Il suit de là que :

1° L'eau contient de l'air, qui s'en échappe à mesure qu'on la chauffe ou qu'on diminue le poids qu'elle supporte.

2° La force nécessaire pour dégager l'air augmente à mesure qu'il en reste moins dans l'eau.

3° Quand on élève l'eau de 15 à 100 degrés, elle perd le $\frac{1}{25}$ environ de son volume d'air.

ÉBULLITION DANS UN VASE OUVERT.

On enlève le bouchon qui porte le tube, afin que l'eau contenue dans le ballon soit en contact avec l'air atmosphérique. Dans ce cas, l'ébullition devient régulière, et quelle que soit sa durée, le courant ascendant charrie constamment de l'air. Il suit de là que l'eau chaude qui s'élève du fond perd une portion de son air, et qu'en arrivant en contact avec l'atmosphère, elle en absorbe de nouveau, qu'elle entraîne en descendant. Il se forme ainsi deux courans contraires qui ont bientôt échauffé toute la masse liquide. Près du terme de l'ébullition, l'on voit se détacher de la surface de chauffe des bulles de vapeur qui montent et disparaissent avant d'arriver à la surface qu'elles finissent par atteindre quand l'eau est suffisamment chaude. Alors le liquide est en pleine ébullition, et la température indiquée par le thermomètre demeure constante. Cette dernière est toujours plus faible que la température du bain-marie.

La vaporisation est d'autant plus rapide, que la différence

$T-t$ est plus grande et que la paroi de chauffe est moins épaisse.

C'est en vertu de ce principe que, pour avoir une vaporisation plus rapide, une force motrice plus grande, on applique directement le feu au dessous des chaudières; et que le même foyer chauffant de la même manière, la même surface de chauffe produit le plus de vapeur aux températures les moins élevées.

Si l'on pousse le feu trop vivement, si la température de la surface de chauffe est trop élevée, la vapeur s'en détache avec une telle vitesse, qu'elle soulève ou projette l'eau trop lente à lui livrer passage, l'ébullition devient tumultueuse, et le liquide bouillant, transformé en mousse, augmente considérablement de volume.

ÉBULLITION DE L'EAU CONTENANT TRÈS PEU D'AIR.

Le ballon de verre est à moitié plein d'eau recouverte d'une couche d'huile. On chauffe jusqu'à l'ébullition que l'on maintient pendant quelques minutes, pour chasser tout l'air retenu par une affinité moindre qu'une atmosphère. L'eau étant dépouillée du gaz, qu'elle ne peut absorber de nouveau à cause de l'huile qui l'en sépare, on laisse refroidir jusqu'à ce que les courans soient éteints. Dans cet état, si l'on chauffe graduellement de nouveau, la température indiquée par t peut quelquefois s'élever jusqu'à 123°, avant qu'il y ait ébullition sous la pression atmosphérique. A cette température l'eau privée d'air est dans l'état d'équilibre qui précède la vaporisation instantanée; car si l'on

chauffe de un degré de plus, il se développe en un instant une masse énorme de vapeur qui brise le vase quoiqu'il soit ouvert, ou qui s'élance au dehors en entraînant beaucoup d'eau, quand l'ouverture et la résistance du vase sont grandes. Au même instant le liquide qui reste se trouve abaissé à la température de l'ébullition, parce que l'eau qui s'est vaporisée a dû prendre son calorique d'élasticité aux molécules qui l'entouraient. Pour expliquer ce phénomène, observé d'abord par Deluc et ensuite par Bellani, nous remarquerons que l'eau privée d'air élastique doit s'échauffer très lentement.

Les particules liquides, n'étant plus séparées par des bulles de gaz, ont une force de cohésion qui offre plus de résistance à la formation des courans, ainsi qu'à la tension et au dégagement de la vapeur naissante; la couche en contact avec la surface de chauffe doit acquérir une température plus forte avant de s'en détacher, parce qu'elle n'est plus entraînée par l'air qui s'élevait le premier. Donc la masse liquide, avant de passer en vapeur, s'échauffe davantage quand elle est privée d'air. Cependant la chaleur croissant graduellement, la couche qui mouille la surface de chauffe finit par se vaporiser, et la vapeur qui s'élève échauffe l'eau qu'elle rencontre. Cet échauffement, et le courant ascensionnel, font sortir un grand nombre de particules de la sphère d'attraction qui les retenait; l'équilibre entre la vapeur naissante et la force de cohésion est rompu, et une portion de liquide se gazéfie comme la poudre « avec une force élastique plus

« faible que celle qui répond à la température de la paroi. »

La preuve que cette vaporisation explosive est due à la vapeur qui s'élève du fond à travers le liquide à l'état d'équilibre instantané, c'est qu'on peut la déterminer mécaniquement.

Expérience :

Si l'on pousse à l'ébullition de l'eau couverte d'une couché d'huile, dans un vase au fond duquel repose une tige qui sort au dehors; qu'on ôte ensuite l'eau du feu pour laisser refroidir jusqu'au moment où l'ébullition cesse, il suffira, pour faire bouillir de nouveau, de détacher les bulles de vapeur invisibles adhérentes au fond, en le frappant ou le frottant avec la tige. Si, au lieu de frotter la paroi du vase, on agite l'eau avec la tige, l'ébullition momentanée n'a point lieu.

ÉBULLITION DE L'EAU SURSATURÉE DE SELS.

On chauffe graduellement un matras contenant de l'eau saturée de sels. L'ébullition se fait d'abord régulièrement; et, à mesure que l'eau se vaporise, le sel qui reste, ne pouvant plus être dissous, se précipite en partie. Alors l'ébullition devient irrégulière; elle se fait par bouffées, comme celle de l'eau privée d'air; et la température dépasse plus ou moins cent degrés, selon la nature du sel et l'état de saturation du liquide.

Qnand le dépôt est d'une certaine épaisseur, chaque bouffée soulève la masse qu'elle lance en partie contre la voûte du matras. Si l'on attache ce dernier à l'un des bras d'une balance pour

détruire, au moyen d'un contre-poids, la plus grande partie de sa pesanteur, les projections intérieures le soulèvent avec une force plus ou moins grande, selon l'épaisseur du dépôt qui recouvre la surface de chauffe.

EXPLICATION DE CE FAIT EXPÉRIMENTAL.

La vapeur naissante, retenue par son affinité pour le sel, par la pression qu'elle supporte et par la cohésion forte de l'eau privée d'air, peut s'échauffer considérablement sans se dégager de l'intérieur de la masse. Elle est alors à l'état que nous appellerons *équilibre de vaporisation.* Comme la température est beaucoup plus élevée au contact de la surface de chauffe, l'équilibre de vaporisation doit se rompre d'abord à la partie inférieure. La vapeur, se développant instantanément à une haute température sous les couches de sel, lance les dépôts contre le dôme du vase qu'ils soulèvent. De plus, en échauffant, en agitant l'intérieur de la masse liquide, elle dégage de la sphère d'affinité qui la retenait la vapeur naissante qui se développe en abondance et qui peut briser le vase pendant qu'il s'élève.

Cette explication qui s'applique à la projection des chaudières dans l'espace, quand elles éclatent en l'air, montre qu'on ne doit pas généraliser le principe suivant :

« Les mouvemens qui ont lieu dans l'intérieur d'une masse ne « peuvent point la transporter. »

EXPÉRIENCE QUI PROUVE LE DÉPLACEMENT DES MASSES PAR UN MOUVEMENT INTÉRIEUR.

J'ai taraudé la bouche d'un petit canon de bronze long de 4 pouces 1/2, ayant 5 lignes 3/4 de diamètre intérieur.

Ce canon a été successivement chargé avec trois, six et neuf grains de poudre de chasse, pressée par une balle de calibre exact. Sa bouche étant fermée avec une vis de fer, je l'ai couché sur une plaque horizontale, en appuyant la culasse perpendiculairement contre un mur, et j'ai mis le feu à de l'amadou pour le communiquer à l'amorce.

RÉSULTAT DES EXPÉRIENCES.

1re : Le canon chargé pèse 287 grammes + 3 grains de poudre.

La balle lancée par la poudre et arrêtée par la vis n'a point déplacé le canon, dont la lumière a une ligne environ de diamètre.

2e : Poids du canon : 287 grammes + 6 grains de poudre.

Distance franchie par la balle depuis la culasse jusqu'à la vis qui l'arrête : D = 2 pouces 8 lignes.

Le canon s'est avancé de 1 ligne 1/2, distance mesurée entre la culasse et le mur.

3e : Poids du canon : 287 grammes + 9 grains.

La masse entière s'est avancée de 7 lignes.

EXPLICATION DU TRANSPORT EFFECTUÉ PAR LE MOUVEMENT INTÉRIEUR.

Décomposons la force de la poudre en une série de chocs imprimés en sens contraire au fond du canon et à la balle, pendant chacun des instans que met le projectile à se transporter jusqu'à la vis qui l'arrête.

Soient:

$$L,\ L',\ L''.....\ L^{n-1} + L^{n}$$

l'intensité décroissante des chocs.

Si l'on fait abstraction du frottement, la balle conservant les vitesses dues aux impulsions successives, imprimera à la vis et par suite au canon une quantité de mouvement correspondante à

$$L + L' + L''..... + L^{n-1} + L^{n}$$

Or, les impulsions contre la culasse ayant été successivement anéanties par la résistance du mur, le fond du canon n'éprouve, au dernier instant, qu'une impulsion correspondante à L^{n}. Il suit de là que le mouvement intérieur imprimant deux impulsions contraires au canon, ce dernier devra se transporter en avant d'une quantité correspondante à la différence

$$L + L' +''..... + L^{n-1}$$

des impulsions opposées qu'il reçoit au même instant.

VAPORISATION DANS LES CHAUDIÈRES.

Les principes que nous venons d'exposer s'appliquent directement aux chaudières à vapeur. Quand on allume les foyers sous leur surface de chauffe, le calorique se transmet à la couche qui mouille la paroi interne. L'air contenu dans cette couche se dilate, s'élève, entraîne l'eau, et il se forme des courans qui échauffent progressivement la masse entière jusqu'à l'ébullition. A mesure que la vapeur se forme, elle s'accumule dans l'espace réservé au-dessus de l'eau. Lorsqu'elle possède la force à laquelle on veut qu'elle travaille, on ouvre un robinet qui lui permet de s'élancer dans le cylindre pour aller agir sur le piston. Si la machine dépense autant de vapeur que les foyers en développent, la vaporisation est régulière, parce qu'elle est favorisée par un courant d'air constant provenant de l'eau alimentaire. Quand on pousse le feu, la vapeur devient plus abondante et le piston marche plus vite. Mais si par une cause quelconque la vapeur s'échauffe en s'accumulant dans le générateur, sa force élastique s'accroît jusques à l'explosion. Pour prévenir ce terrible accident, on ménage au-dessus de la chaudière une ouverture fermée par une soupape, qui laisse échapper la vapeur quand elle atteint le tiers de la force équivalente à la résistance des parois, mesurée à froid par la presse hydraulique. Comme le poids qui retient la soupape dans son siége, peut être facilement augmenté par accident ou par imprudence, les ordonnances de police veulent que

chaque chaudière soit armée de deux soupapes, dont l'une est sous clé.

Nonobstant cette disposition, l'on n'est pas à l'abri des explosions, même ordinaires, avec deux soupapes; car l'expérience a démontré, qu'elles peuvent contracter dans leur siége une adhérence, qui augmente considérablement la force nécessaire pour les ouvrir. D'un autre côté, quand elles se soulèvent, il arrive parfois que la vapeur, s'échappant en lame mince, les fait osciller sans les ouvrir suffisamment. Ces deux défauts de l'appareil préservateur dû au génie de Papin, ont conduit à l'application du métal fusible découvert par M. Darcet. Selon les ordonnances, chaque chaudière doit avoir deux soupapes et deux rondelles fusibles. L'on a pensé que si les premières résistent à la tension de la vapeur, les secondes seront fondues à la température correspondante. L'expérience a démontré que les rondelles cèdent quelquefois en se ramollissant avant le terme de fusion, et qu'elles ne se fondent pas convenablement, parce qu'elles sont exposées à un refroidissement plus rapide que celui des parois qu'elles protègent.

A ce double défaut, analogue à ceux des soupapes, s'ajoute un inconvénient grave, dont ces dernières sont exemptes. Il consiste en ce que si la fusion a lieu, le travail de la machine et des ateliers qu'elle conduit est interrompu pour le reste de la journée. Aussi, dans les grandes usines, la plupart des fabricans emploient-ils divers moyens qui rendent la fusion impossible, ou du moins qui la retardent.

Dans la navigation par la vapeur, ce moyen de sûreté, rendant le navire immobile, l'expose à se perdre par le naufrage ou à être pris dans un combat.

Ajoutons que dans les cas d'explosions dites extraordinaires, quoiqu'elles soient les plus fréquentes, les rondelles et les soupapes sont plutôt dangereuses que préservatrices; car, en laissant échapper une grande masse de vapeur, en affaiblissant considérablement la pression que supporte le liquide, elles peuvent déterminer, dans certains cas, une vaporisation immense, instantanée, dont les produits ne sauraient s'écouler qu'en très faible partie par les mêmes ouvertures.

Les manomètres de sûreté, ou les tubes ouverts dans l'eau des chaudières à basse pression, sont encore plus incommodes et plus dangereux que les rondelles fusibles; car ces dernières affaiblissent rapidement la tension intérieure en laissant échapper la vapeur, au lieu que les manomètres, par lesquels il ne sort que de l'eau, ne diminuent presque pas la force emprisonnée, parce qu'ils font croître trop lentement la capacité qu'elle occupe. D'un autre côté, pendant que le niveau s'abaisse, les foyers échauffent considérablement les parois dont les points correspondans sont mis successivement à sec. Or, dans cet état d'échauffement, si une cause quelconque amène l'eau en contact avec le métal, l'explosion peut avoir lieu.

En général, tout procédé qui fait baisser l'eau dans les chaudières facilite leur calcination ou leur rupture, à moins qu'il ne produise l'extinction rapide d'une grande partie des foyers.

Quant aux cloisons de moindre résistance, elles offrent tous les inconvéniens des rondelles fusibles, et il n'est pas possible de calculer leur résistance aussi exactement que le terme de fusion.

Il résulte des observations précédentes, que de tous les appareils proposés contre les explosions ordinaires, les plus commodes, les plus efficaces, les seuls réellement utiles, sont les deux soupapes de Papin, dont il est facile d'empêcher l'adhérence et les vibrations.

ÉCRASEMENT DES CHAUDIÈRES.

Avant de passer aux explosions contre lesquelles il n'y a de garanties que celle que j'ai fait connaître, je dois dire un mot sur l'écrasement des chaudières.

Les générateurs cylindriques des machines à haute pression, étant terminés par des calottes sphériques, ne peuvent pas être écrasés par le poids de l'air extérieur.

Les chaudières rectangulaires à basse pression sont d'autant plus exposées à l'écrasement, que leurs parois planes sont plus étendues. Celles des bateaux actuels, par exemple, seraient souvent écrasées si on les laissait se refroidir sans ouvrir les soupapes pour laisser échapper la vapeur et rentrer l'air quand le travail a cessé. L'écrasement serait aussi la conséquence de la condensation de la vapeur motrice, opérée par injection d'eau froide ou par une lame d'eau qui inonderait extérieurement la chaudière.

L'on peut se mettre à l'abri d'un pareil accident, au moyen d'une soupape qui s'ouvre en dedans, pour laisser entrer l'air atmosphérique, quand la pression intérieure devient trop faible.

EXPLOSIONS FULMINANTES.

Les tuyaux plongeurs, les ouvertures ménagées dans la paroi des chaudières, et tenues fermées par des soupapes ou par des cloisons de moindre résistance et de fusion, en un mot, tous les moyens de sûreté connus, le nôtre excepté, sont toujours inutiles et souvent dangereux dans les cas extraordinaires. Ces explosions, qui sont les plus fréquentes et que nous appellerons *fulminantes*, sont produites par des masses de vapeur qui se forment instantanément, comme les gaz se développent par la combustion de la poudre; leur violence, qui est à peine affaiblie par l'ouverture de toutes les soupapes, a pu faire croire qu'elles étaient le résultat de l'inflammation d'une masse de gaz tonnant, développée dans la chaudière par la décomposition de l'eau. Cette opinion est erronée; car l'eau ne se décompose pas aux températures les plus hautes, à moins que son oxigène ne soit absorbé; or, le fer des chaudières étant déjà oxidé, ne saurait s'emparer de l'oxigène. Il est vrai que la décomposition pourrait avoir lieu dans une chaudière neuve; mais comme elle serait très lente, son hydrogène, seul libre, passerait à mesure dans les cylindres, mêlé à la vapeur motrice et à l'air provenant de l'eau alimentaire. Admettons toutefois qu'il se fasse une accumulation

d'hydrogène dans la chaudière pendant que les machines ne travaillent pas. Alors il y aura si peu d'air mêlé au gaz, que ce mélange ne serait pas tonnant, lors même qu'il ne serait pas noyé par la vapeur, comme je m'en suis assuré par l'expérience.

Les explosions *fulminantes* ne sont réellement produites que par la vaporisation instantanée d'une grande quantité d'eau. Cette vaporisation arrive lors d'un abaissement du niveau dans la chaudière, ou par suite de la formation d'une couche de dépôts salins recouvrant la surface de chauffe.

EXPLOSION FULMINANTE QUI PEUT AVOIR LIEU PAR LA REPRISE DU TRAVAIL DES MACHINES.

Supposons qu'on allume le foyer d'une chaudière contenant de l'eau qu'on vaporisait la veille et qui contient peu d'air; ou bien encore supposons qu'on pousse la combustion pour reprendre le travail des machines qu'on avait momentanément interrompu. La chaudière contenant de l'eau, privée d'air, se trouve dans les conditions de l'expérience rapportée page 93, et l'eau peut, sans bouillir, s'échauffer au-delà du terme de son ébullition. Dans cet état de suréchauffement, la masse à vaporiser est un mélange d'eau liquide et de vapeur naissante. Celle-ci, malgré le calorique d'élasticité qui la rend plus légère, est retenue dans l'intérieur de la masse, par la pression qu'elle supporte et par

son affinité pour l'eau. Comme le calorique croît plus rapidement que la pression et que l'affinité diminue, il finit par s'établir entre ces forces un *équilibre* instantané que nous appellerons *équilibre de vaporisation*. En cet instant le moindre accroissement de chaleur, ou la plus faible diminution de pression, suffit pour rompre la chaudière; car l'*équilibre* de vaporisation rompu, toute la vapeur naissante devient à l'instant élastique, en complétant son calorique d'élasticité aux dépens du liquide environnant, qui s'abaisse à la température de l'ébullition.

EXEMPLE.

Considérons une chaudière à basse pression telle qu'on les fait pour les bateaux à vapeur, et de la force de cent chevaux.

Cette chaudière doit contenir 30,000 kilog. d'eau, plus 30,000 litres de vapeur.

La vaporisation régulière est de 0,85 kilog. d'eau par seconde.

La vapeur motrice est à 105 degrés et sa puissance effective est de 0,2 kilogrammes par centimètre carré.

Les deux soupapes de sûreté, dans leur plus grand soulèvement, peuvent laisser échapper 2,5 kilogrammes de vapeur chacune. Le poids qui retient la plus faible dans son siége est de 0,35 kilog. par centimètre carré; ce poids répond à la force de la vapeur élevée à 108 degrés. La chaudière peut résister à une tension correspondante à la température d'environ 112 degrés.

L'expérience rapportée page 93 prouve que, dans les circonstances que nous considérons, l'eau peut s'élever au-dessus de 122 degrés. Chaque kilogramme de cette eau peut donc recevoir vingt-deux unités de calorique d'élasticité, en conservant l'apparence liquide. L'eau totale suréchauffée dans la chaudière étant de 30,000 kilogrammes, le calorique d'élasticité total, dissimulé par la vapeur naissante, sera donc égal à 660,000 unités. Or, on sait qu'un kilogramme d'eau à cent degrés devient vapeur quand on lui donne 540 unités de plus. Par conséquent, au moment de l'équilibre de vaporisation, il y a dans la chaudière un excès de calorique capable de vaporiser, en moins d'une seconde, $\frac{660,000}{540} = 1222$ kilogrammes d'eau.

Dans ce moment, si la combustion continue, ou même si, avant l'équilibre de vaporisation, on réduit brusquement la pression sur le niveau, il se développe à l'instant une masse de vapeur dont le poids serait de 1222 kilogrammes, si elle pouvait s'échapper toute entière, sous la pression de l'air.

Mais comme cette masse est 448 fois plus grande que celle qui peut s'écouler dans une seconde par l'ouverture de chaque soupape, il en résulte que la vapeur s'accumule en un instant, et qu'elle augmente de force tant que la chaudière résiste, c'est-à-dire jusqu'à la tension correspondante à la température de 112 degrés; en un mot, l'eau à 122 degrés se vaporise instantanément, en demeurant à 112 degrés, en sorte que la vapeur produite, sous la résistance maximum de la chaudière, est due seulement à 10

dégrés de calorique d'élasticité. Or ces dix degrés donnent pour l'eau totale suréchauffée, 300,000 unités de calorique pouvant développer 555 kilogrammes de vapeur, dont le volume serait $555 \times 1172 = 650460$ litres à 112 degrés. Comme la chaudière ne peut contenir que 30,000 litres et qu'elle est déjà pleine, le volume gazeux qui la brise est vingt et une fois plus grand que la capacité qui devait l'emprisonner. (*Voyez* les notes.)

EXPLOSIONS FULMINANTES PAR ABAISSEMENT DU NIVEAU.

Supposons que le niveau habituel de l'eau s'abaisse considérablement dans une chaudière pendant que les foyers sont allumés et que la machine fonctionne. La portion de la surface de chauffe qui n'est plus mouillée intérieurement étant léchée au dehors par la flamme, sa température peut s'élever considérablement, sans que les rondelles placées beaucoup plus haut se fondent.

La couche d'eau qui mouille la paroi intérieure ayant diminué d'étendue, la masse de vapeur développée devient proportionnellement moindre. L'excès de température qu'elle va prendre par son contact avec les parois métalliques suréchauffées de l'enceinte qui l'emprisonne, elle le perd en partie en se liquéfiant sur la surface de l'eau plus froide. La diminution du volume de la vapeur produite n'étant pas compensé par l'élévation de sa température, la force motrice devient moindre; aussi, remarque-t-on toujours dans le cas qui nous occupe un ralentissement

dans la vitesse du piston. La vapeur n'étant pas suffisamment puissante, le machiniste pousse vivement le feu, ou bien encore il arrête le travail pour donner aux foyers le temps de réchauffer la chaudière qu'il suppose à une température insuffisante.

Examinons les suites de l'interruption momentanée du travail, cas très fréquent dans la navigation sur les rivières où l'on s'arrête souvent pour recevoir ou pour débarquer des voyageurs.

La vapeur se trouvant emprisonnée dans la partie supérieure de la chaudière, entre le niveau et la paroi métallique suréchauffée, sa force correspond à la température la moins élevée qui est celle de l'eau. Les foyers continuant la vaporisation, la vapeur engendrée s'accumule dans l'enceinte qui lui sert de réservoir. Là, elle devient de plus en plus dense, à mesure qu'elle échauffe la surface de l'eau, en se liquéfiant partiellement sur elle. Le suréchauffement progressif du niveau faisant augmenter la pression qu'il supporte, la masse liquide tout entière peut s'échauffer, au-delà du terme de son ébullition, sous la pression habituelle; il suit de là que, par rapport à cette dernière, l'eau peut acquérir du calorique d'élasticité. Cependant la force élastique de la vapeur, augmentant progressivement, finit par soulever la soupape. Au bruit qu'elle fait en sortant, le machiniste, croyant que la chaudière ne possède qu'un petit excès de chaleur, s'empresse d'ouvrir le robinet d'admission. S'il l'ouvre tout-à-fait, la vapeur emprisonnée s'élance en abondance dans les cylindres refroidis; il se fait un affaiblissement grand et brusque dans la pression

qui pèse sur la surface de l'eau; la vapeur naissante, disséminée dans la masse liquide, se développe en un instant; elle soulève l'eau qu'elle transforme en mousse, dont le volume remplit la chaudière, et qui, par son contact avec la paroi supérieure surchauffée, produit instantanément une masse de vapeur qui suffirait à elle seule pour opérer l'explosion.

L'on trouvera dans les notes la détermination de la plus grande masse de vapeur qui peut se développer instantanément dans une chaudière donnée :

1° Par le contact de l'eau avec les parois supérieures élevées à un excès de température connu;

2° Par le calorique d'élasticité, ou par l'excès de chaleur que l'eau prend quelquefois au-dessus du terme de son ébullition, sous la pression de la vapeur motrice. En retranchant l'une ou l'autre de ces masses, développées presque toujours simultanément, en moins d'une seconde, de la masse de vapeur qui, dans une seconde, pourrait s'échapper par les ouvertures des rondelles et des soupapes, on trouvera une différence indiquant une élasticité plus forte que la résistance de la chaudière.

EXPLOSIONS FULMINANTES, PAR ABAISSEMENT DU NIVEAU, PENDANT LE TRAVAIL.

Dans le cas où le travail n'est pas interrompu, le chauffeur pousse violemment le feu pour avoir la force motrice dont

l'abaissement du niveau d'eau prive les machines. Alors il peut se faire, comme on le voit dans un matras, une ébullition tumultueuse qui gonfle l'eau en mousse et l'amène en contact avec le métal suréchauffé. Ce contact peut encore être produit par toute cause qui affaiblit brusquement la pression que le niveau supporte, ou par un effet dynamique qui fait osciller la masse d'eau dans la chaudière, comme serait, pour les bateaux, une vague, un changement brusque de direction, une vitesse acquise ralentie; dans ces différens cas, il y aurait toujours accroissement de surface de chauffe et contact du liquide avec le métal suréchauffé. Les calculs qu'on trouvera dans les notes apprennent quels doivent être le suréchauffement des parois métalliques et l'aire de leur contact avec l'eau pour qu'il y ait explosion.

EXPLOSIONS FULMINANTES, DITES SÉLÉNITEUSES.

Quand on voit défaire des chaudières hors d'usage, l'on est surpris de la quantité considérable de dépôts qu'elles renferment. Les parois exposées aux coups de feu sont recouvertes d'une couche solide adhérente au métal et dont l'épaisseur est la plus grande sur les parties qui recevaient la plus vive action des foyers. Au-dessus de cette couche est un amas en poudre qui formait avec l'eau une espèce de boue. Cette observation nous amène à distinguer deux sortes d'explosions sélénitenses, provenant, l'une d'un dépôt boueux, l'autre d'une couche solide adhérente aux parois de la chaudière.

Première sorte d'explosion séléniteuse.

Lorsqu'on fait bouillir de l'eau formant au fond d'un ballon de verre un dépôt boueux, l'ébullition est intermittente et se fait par soubresauts. L'expérience apprend que plus la hauteur du dépôt est grande, plus la température va croissant à mesure qu'on descend vers le fond du vase. Supposons qu'une chaudière soit dans les conditions du ballon de verre, qu'elle contienne de l'eau bouillante au-dessus d'une couche épaisse de dépôts séléniteux ou terreux. La vaporisation motrice s'opérera dans l'eau; mais de temps en temps il s'élèvera du fond de grosses bulles de vapeur qu'un excès de calorique peut seul arracher au sel. Ces grosses bulles que l'on voit et dont on entend la formation détonnante dans une bouilloire de verre, lancent des portions plus ou moins grosses du dépôt contre le dôme de la chaudière qu'elles tendent à soulever. Un coup de feu, un affaiblissement brusque de la pression sur le niveau, peuvent occasioner le soulèvement de la masse boueuse, et par suite l'explosion.

En effet, cette masse, fortement échauffée, se mélangeant avec l'eau bouillante, doit lui céder une grande quantité de calorique, lequel est employé tout entier à produire de la vapeur. D'un autre côté, une portion de l'eau tombant sur le fond de la chaudière mis à nu, doit être à l'instant vaporisée en partie; la masse de vapeur produite instantanément par ces deux causes agissant comme un choc, doit rompre la chaudière, dont la

résistance est d'ailleurs affaiblie par l'inégalité de sa température. (Voyez le calcul dans les notes.)

CHAUDIÈRE LANCÉE DANS L'ATMOSPHÈRE.

Considérons enfin une chaudière dont le fond soit recouvert d'une couche séléniteuse, solide, adhérente au métal. Cette couche étant peu conductrice de la chaleur, le calorique des foyers se transmet difficilement à l'eau, à travers le métal et le sel qui s'échauffent considérablement. Cependant la vaporisation motrice peut être suffisante; mais il faut pousser le feu, et il y a toujours perte de calorique. Si l'épaisseur de la couche est ou devient telle, que les foyers communiquent la chaleur aux parois plus rapidement que le métal ne la transmet au sel et ce dernier à l'eau, le fond de la chaudière peut s'échauffer jusqu'à rougir. Toutefois, avant de rougir, le fer se détache de la couche séléniteuse, dont la dilatation est plus faible. Si, pour cette raison, ou par toute autre cause, une portion de croûte d'une certaine étendue cesse d'être adhérente au fer, aussitôt l'eau pressée par la vapeur se glisse entre les deux. Au même instant elle se vaporise à une température considérable par le contact du métal et du sel qui sont frappés l'un et l'autre par la vapeur résultante, comme le sont, par l'inflammation de la poudre, le boulet et la culasse d'un canon. Cependant les impulsions successives de la vapeur sur le fond de la chaudière ayant été détruites par la

résistance du sol, au moment où la croûte solide atteint le dôme de la chaudière avec la somme des vitesses dues aux mêmes impulsions, il doit en résulter une immense force de soulèvement capable de lancer la chaudière dans l'atmosphère. (Voyez l'expérience directe rapportée page 94, et les notes, page 107.) Ce choc intérieur peut seul rompre la chaudière, qui quelquefois aussi n'éclate que dans l'air. Dans ce dernier cas, la rupture est due au surcroît de vapeur, que développe l'eau bouillante suréchauffée par son mélange avec les débris du dépôt qui s'est brisé contre le dôme.

PROJECTION DE LA CHAUDIÈRE OPÉRÉE PAR LA DÉCRÉPITATION DU SEL MARIN.

Si la croûte solide adhérente aux parois exposées aux coups de feu, se compose de sel marin, la chaudière peut être lancée dans l'air avant que le métal soit à la température de 190 degrés; car l'expérience apprend que vers 190 degrés, le fer a le pouvoir de vaporiser l'eau de cristallisation du sel marin qui fait corps avec lui. Supposons donc qu'une grande négligence ait laissé se former sur le coup de feu d'une chaudière alimentée par de l'eau de mer, une couche épaisse de sel adhérent au métal. Si l'épaisseur de la couche solide est telle, que l'eau bouillante de la chaudière ne puisse pas la dissoudre entièrement l'explosion est imminente. En effet, quand on allume les foyers, le métal s'é-

chauffant graduellement sous le dépôt séléniteux, l'eau de cristallisation du sel finit par se vaporiser tout à coup, et il se fait une explosion analogue à la précédente. Si la chaudière est à foyer intérieur, elle est rompue, mais non projetée; si les foyers sont extérieurs, elle est peut-être lancée dans l'air.

CHAUDIÈRE LANCÉE PAR L'INFLAMMATION DU GAZ TONNANT.

Nous avions d'abord adopté l'opinion reçue d'après laquelle on suppose que la projection des chaudières est produite par l'inflammation d'une masse de gaz tonnant. Ce dernier proviendrait du gaz hydrogène carboné qui se serait mélangé avec l'air dans quelques coins des foyers ou des conduits de circulation de la fumée. Un examen attentif des formes des chaudières nous a porté à croire que, s'il y a eu des projections par gaz tonnant, elles ont dû être infiniment rares; car les chaudières à chambres intérieures, qui seules semblent permettre l'accumulation d'une masse de gaz tonnant, ne pourraient pas être lancées par une détonation dont les impulsions égales et opposées devraient se détruire. Quant aux chaudières dont les foyers sont extérieurs, les canaux de circulation de la fumée sont trop peu vastes et les cendriers, toujours ouverts, sont trop grands, pour que les chaudières puissent être arrachées aux murs de briques qui les recouvrent.

Il résulte de la théorie précédente que toutes les causes de rupture sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU DES CAUSES DE RUPTURE OU D'ALTÉRATION DES CHAUDIÈRES A VAPEUR.

EXPLOSIONS par accroissement graduel de la force motrice.

La pression effective de la vapeur était devenue progressivement plus grande que la résistance des parois.	1° Les soupapes étaient fermées, adhérentes, ou trop chargées. 2° La vapeur en sortant faisait osciller les soupapes sans les ouvrir suffisamment.	1° Les rondelles fusibles étaient, comme elles sont presque toujours, à une température plus basse que celle des parties inférieures de la chaudière et de la vapeur motrice. 2° Leur terme de fusion n'était pas exact.
	3° La résistance des parois était devenue moindre par une dilatation inégale dans deux parties voisines, ou par l'action du feu contre le dessous de la chaudière qui se brûle s'il est couvert de dépôts, ou qui s'amincit assez vite quand la combustion est par trop vive et que le métal est très épais pour résister à une très forte vapeur motrice.	

EXPLOSIONS FULMINANTES.

La pression effective était devenue instantanément	1° L'eau privée d'air et de courans contraires s'était graduellement élevée, sans se vaporiser, à une température presque égale, ou supérieure, à celle qui donne à la vapeur une force plus grande que la résistance des parois.	Dans cet état de suréchauffement de l'eau, un surcroît de calorique, ou une diminution de pression sur le niveau, a rompu l'équilibre de vaporisation qui retenait la vapeur naissante, laquelle s'est à l'instant dégagée de tous les points de la masse.
plus grande que la résistance des parois inégalement chauffées,	2° Le niveau de l'eau s'étant trop abaissé avait permis un grand échauffement des parties supérieures de la chaudière, sur lesquelles il y a eu ensuite projection ou contact de l'eau bouillante, ou plus chaude que bouillante, laquelle a dû se vaporiser à l'instant en trop grande abondance.	Un cahot, une vitesse acquise arrêtée, une vague ou toute autre cause mécanique d'oscillation du niveau a projeté le liquide vers le haut de la chaudière d'une machine locomotive. Une diminution grande et subite dans la tension qui presse le niveau a permis à la vapeur naissante d'augmenter de volume et de gonfler en mousse l'eau qui remplit alors la chaudière. La tension s'affaiblit par toutes les causes d'échappement de la vapeur, ou par sa consommation plus rapide que son développement.

contre lesquelles la vapeur a dû agir comme un choc.	3° Le bas de la chaudière était couvert d'une masse de dépôts boueux qui, étant mauvais conducteurs du calorique, avaient permis au métal de s'échauffer considérablement, en s'échauffant eux-mêmes beaucoup plus que l'eau supérieure bouillante.	Une diminution de pression, un coup de feu ou un excès de calorique, vaporisant l'eau que contenait la première couche, a soulevé la masse boueuse; cette dernière, en se mélangeant avec l'eau bouillante, en a vaporisé une grande partie, pendant qu'une autre partie s'est convertie en vapeur en touchant au fond de la chaudière découverte de son dépôt séléniteux ou terreux.

CHAUDIÈRES LANCÉES DANS L'ATMOSPHÈRE.

1° La partie de la chaudière qui reçoit l'action la plus vive du foyer extérieur était couverte d'une croûte séléniteuse, épaisse, solide, adhérente au métal fortement échauffé. Une cause quelconque ayant détaché le sel du fer, il s'est glissé entre les deux une lame d'eau. Cette lame, vaporisée en un instant, à une énorme température, a lancé, de bas en haut, la croûte et l'eau dont le choc a soulevé la chaudière.

A une certaine température, la couche séléniteuse a dû se fendre ou se détacher, sa dilatation étant différente de celle du métal avec lequel et la surface inférieure du sel l'eau s'est mise en contact et aussitôt vaporisée.

Il se peut encore que, par une pression grande et prolongée, favorisée par la chaleur et par l'affinité du sel, l'eau ait traversé la couche séléniteuse pour arriver jusqu'au métal incandescent.

2° Il peut s'être enflammé au-dessous de la chaudière une masse de gaz tonnant qui l'a soulevée. Ce cas doit être infiniment rare.

Le gaz tonnant aurait été produit par l'hydrogène carboné dégagé de la houille qui se serait mélangé avec de l'air dans quelque coin du foyer.

3° Il s'est fait au bas de la chaudière une large ouverture qui, détruisant l'équilibre des pressions intérieures opposées, a fait produire à la vapeur un mouvement de recul de bas en haut.

Une certaine étendue de la paroi inférieure de la chaudière ayant rougi sous le sel, sa résistance grandement affaiblie a cédé à la pression de la vapeur qui a fait une large ouverture suivie du mouvement de recul.

ÉCRASEMENT DES CHAUDIÈRES.

La pression effective était négative et plus grande que la résistance des parois.	Il s'était fait un vide dans la chaudière par la condensation de la vapeur qu'on avait laissé refroidir sans ouvrir les soupapes.	Cet accident ne peut arriver que dans les chaudières grandes, à surfaces planes, non munies d'une soupape qui laisse entrer l'air extérieur.

N. B. La cause qui produit la projection dans l'air d'une chaudière à foyer

extérieur peut opérer l'écrasement de celles dont les foyers sont en dedans.

CHAUDIÈRES QUI SE BRULENT OU SE PERCENT.

Quand un corps étranger, peu conducteur du calorique, séjourne quelque temps sur le fond de la chaudière ou sur toute autre partie qui reçoit le coup de feu.

C'est justement sur les parois, mêmes verticales, qui reçoivent l'action la plus vive des foyers, que les sels s'amoncèlent davantage; ce qui faisait brûler le métal, avant qu'on eût trouvé le moyen d'amener les sels au-dessous de la surface de chauffe, par une bonne disposition des courans que produit la vaporisation.

Il résulte de ce tableau, justifié par nos expériences, que toutes les causes d'explosions des chaudières proviennent uniquement de ce qu'une certaine étendue de leur paroi acquiert une température supérieure à celle qui donne à la vapeur une force plus grande que la résistance du métal.

Donc, le moyen certain et unique de prévenir toute explosion consiste à maintenir la température la plus haute des parois métalliques au-dessous d'une limite à laquelle la force de la vapeur est moindre que leur résistance.

Quoique les soupapes de Papin ne remplissent pas toujours ce but, elles doivent être conservées pour leur extrême commodité dans les cas ordinaires.

Si l'on emploie deux soupapes de Papin, dont il est facile d'éviter l'adhérence et les oscillations produites par une lame mince de vapeur qui s'échappe, les rondelles fusibles et autres moyens prétendus de sûreté, sont complètement inutiles, quand ils ne sont pas incommodes ou dangereux.

APPAREIL QUI EMPÊCHE LES CHAUDIÈRES D'ÊTRE BRULÉES SOUS DES COUCHES DE SELS, ET QUI, DANS TOUS LES CAS, PRÉVIENT LEUR EXPLOSION SANS ARRÊTER LES MACHINES.

Malgré la constance du niveau, nonobstant les soupapes de Papin, les rondelles fusibles, les manomètres ouverts, les globes, feuilles ou tubes de moindre résistance, il est certain que les chaudières peuvent éclater. Le seul moyen d'empêcher leur explosion, dans tous les cas, est d'employer nos bouchons métalliques qui, en se fondant, permettent à la vapeur d'aller éteindre les foyers, aussitôt qu'ils ont produit, dans les points les plus chauds, une température au-dessous de laquelle il n'y a jamais aucun danger. Les parties de la chaudière qui s'échauffent le plus sont, celle qui reçoit le coup de feu en se couvrant de sel, et celle qui, par l'abaissement du niveau, se découvre d'eau à l'intérieur, pendant que les points correspondans extérieurs sont léchés par la flamme. Pour leur donner une température limite, il suffit de loger dans leur épaisseur un bouchon convenablement fusible.

DESCRIPTION DE L'APPAREIL.

Au point dont on veut empêcher le suréchauffement, on fait une ouverture de sept à huit lignes de diamètre. Au point correspondant sur la paroi supérieure, on fait une ouverture pareille, et l'on passe à travers les deux un tube creux qui les bouche

hermétiquement. A cet effet, l'extrémité inférieure du tube porte un épaulement, ou bien encore elle est évasée, afin d'être retenue par en bas, pendant que sur l'extrémité supérieure on visse la base d'un robinet qui sert d'écrou, en s'appuyant sur la chaudière. Ce robinet ferme l'orifice supérieur du tube creux; l'orifice inférieur, tourné en cône, est hermétiquement fermé par un bouchon de métal fusible, dont la petite base est vers le bas. Le tube, ainsi fermé par les deux bouts, communique avec la vapeur de la chaudière par plusieurs petits trous faits dans son épaisseur bien au-dessus du niveau.

Supposons que, par une cause quelconque, la paroi de chauffe atteigne la température de fusion du bouchon logé dans son épaisseur. Ce dernier se fond. La vapeur de la chaudière, s'écoulant par le tube, s'élance de haut en bas sur la grille dont elle éteint ou refroidit le combustible, tant par son contact qu'en repoussant l'air nécessaire à la combustion. Cependant le foyer, en partie éteint, n'étant plus capable de fournir la vapeur qui s'écoule et celle que les machines continuent à dépenser, la température de la chaudière baisse rapidement. Le chauffeur, averti par le bruit de la vapeur qui sort, que la chaudière marchait vers une explosion que le bouchon a prévenue en se fondant, doit remettre un autre bouchon quand il voit diminuer la vitesse de la machine. Pour cela, la clé du robinet porte dans son épaisseur une poche, une cavité qui ne la traverse point. Le chauffeur laisse tomber dans cette poche, dont l'orifice commu-

nique au dehors, le cône fusible qu'il introduit par la base la plus large. Cela fait, il n'a plus qu'à tourner le robinet d'un demi-tour. Au même instant le bouchon fusible tombe dans le tube par sa base la moins large, et le courant de vapeur qui sort le lance contre l'orifice conique inférieur où il se moule hermétiquement. Bientôt les machines reprennent leur vitesse, qu'on peut ne pas laisser ralentir, en courant la chance de fondre un bouchon de plus. Le bateau est ainsi sauvé d'une explosion, sans tomber dans un écueil ou dans les mains de l'ennemi.

Pour éteindre le foyer d'une locomotive, lequel a 22 pouces de large et 40 pouces de long, il suffit que la vapeur s'élance de haut en bas, au centre du foyer, par une ouverture de trois à quatre lignes de diamètre. La petite base du cône étant un peu plus large que l'orifice de cette ouverture, et n'étant séparée de la paroi qu'elle protége que par l'épaisseur d'un mince tuyau, la température est la même pour le bouchon et pour la paroi. Si l'on voulait éteindre des foyers plus vastes que ceux de nos plus grands bateaux, ce qui n'est point nécessaire puisqu'il suffit de refroidir, il faudrait agrandir d'une à deux lignes le diamètre des cônes fusibles, ou bien en mettre deux au-dessus du foyer.

Les chaudières-cylindriques doivent être munies de deux appareils à bouchon, placés l'un au bas de la chaudière pour la protéger contre les explosions séléniteuses, l'autre à la hauteur du niveau pour parer au danger de son abaissemetn.

Les chaudières actuelles des bateaux à basse pression, ainsi

que celles en usage sur les chemins de fer, n'ont besoin que d'un seul appareil placé dans la paroi supérieure à la grille; car cette paroi horizontale reçoit le coup de feu, et elle est la première qui se couvre de sels, et se découvre d'eau par l'abaissement du niveau.

N. B. Si une extrême négligence a laissé entasser les dépôts dans une chaudière, il se peut qu'un bouchon venant de fondre, celui qui le remplace fonde bientôt après. Alors, si la chaudière est alimentée par de l'eau de mer, il faut ouvrir pendant quelque temps la soupape d'évacuation pour laisser échapper les sels, et faire agir une pompe alimentaire de plus, en activant les foyers. Si les dépôts sont insolubles il faut mettre un bouchon moins fusible, mais d'un usage encore sûr, pour pouvoir terminer la journée. Le travail fini, on doit nettoyer la chaudière en y jetant de l'argile, qui a la propriété de détacher les sels adhérens aux parois, d'après l'observation vérifiée de M. Chaix. Quelque temps après, pendant que l'eau chaude tient en dissolution l'argile et les sels, il faut ouvrir le robinet, ou la soupape d'évacuation par laquelle tout s'écoule.

NOTES.

Pour faire voir que le contact de l'eau avec la paroi suréchauffée qui sert d'enceinte à la vapeur peut occasioner la rupture de la chaudière, lors même que les soupapes seraient ouvertes, nous

allons déterminer la plus grande masse de vapeur qu'elle est capable de produire; nous en retrancherons celle qui, dans le même temps, s'échapperait par les soupapes, et la différence indiquera une élasticité plus forte que la résistance des parois.

QUANTITÉ DE VAPEUR QUI, DANS UNE SECONDE, PEUT SORTIR PAR LES SOUPAPES.

Lorsque les gaz s'écoulent par des orifices en minces parois, l'on admet que leurs molécules sortent avec la même vitesse que si elles fussent tombées du sommet d'une colonne liquide, ayant la même densité que le gaz qui sort et une hauteur équivalente à sa force élastique. Selon ce principe, si l'on représente par :
V, la vitesse avec laquelle la vapeur s'échappe;
F, l'excès de sa force élastique sur la pression de l'atmosphère;
D, sa densité par rapport à l'air, l'on aura tout calcul fait,
$V = 245 \sqrt{\frac{F}{D}}$

Si l'on appelle b l'aire totale des orifices des soupapes, le volume q, de la vapeur qui pourrait s'échapper et dont la vitesse serait sensiblement constante durant une seconde, sera connue par la formule $q = 245\, b \sqrt{\frac{F}{D}}$..........(13)

Cherchons maintenant la plus grande quantité de vapeur qui, dans une seconde, peut être développée dans la chaudière, et, auparavant, déterminons la température à laquelle les parois de la chaudière, qui servent d'enceinte à la vapeur, vaporisent la plus grande quantité d'eau.

TEMPÉRATURE CORRESPONDANTE AU MAXIMUM DE FORCE DE VAPORISATION DE L'EAU PAR LE FER ET PAR LE CUIVRE.

Quand on plonge dans l'eau une masse métallique très chaude, elle produit un bruit qui devient plus fort quelques instans après son immersion. Si dans un vase contenant de l'eau à cent degrés on laisse tomber une sphère métallique très chaude, le bruit est accompagné d'un dégagement de vapeur. Ces deux effets simultanés provenant de la même cause, indiquent la force de vaporisation qui augmente à mesure que la sphère s'approche d'une certaine température. L'on juge qu'elle la possédait quand elle a produit le bruit le plus fort et une vapeur plus abondante.

Pour déterminer la température correspondante au maximum de force vaporisante, il faut saisir l'instant où le métal la possède et mesurer alors sa température.

1° Comment on reconnaît qu'un métal chaud est à son maximum de force vaporisante.

Les physiciens qui ont répété les expériences de Klaproth ont reconnu que les gouttes d'eau s'arrondissent quand on les dépose sur du fer dont la température est élevée. Ces globules d'eau sont long-temps à se vaporiser parce qu'ils ne s'échauffent que par le seul point de leur contact avec le métal. Mais si l'on

multiplie les points de contact en employant une force qui aplatisse la goutte, si on la laisse tomber, par exemple, d'une certaine hauteur, la vaporisation est beaucoup plus rapide, elle devient instantanée par une certaine température du métal, au-dessous et au-dessus de laquelle les gouttes d'eau se vaporisent plus lentement. Pour saisir cette température, nous faisions rougir un disque de fer, que nous laissions ensuite se refroidir graduellement dans l'air. De temps en temps nous laissions tomber une goutte, qui glissait sur le métal sans passer en vapeur. Après un certain temps, les gouttes d'eau mouillaient un peu le disque et se vaporisaient en partie; plus tard elles s'aplatissaient sur le métal et disparaissaient à l'instant; plus tard encore la vaporisation devenait plus lente. Avec un peu d'habitude, l'on parvient à saisir ainsi la température réelle de la plus grande force vaporisante pour chaque métal, et il ne reste plus qu'à la mesurer à l'instant même.

2° *Comment on mesure la température du maximum de vaporisation.*

A cet effet, un vase léger de fer-blanc contient une masse d'eau telle, qu'on peut la peser avec des balances qui donnent les centigrammes. Cet eau, qui occupe le quart de la hauteur du vase, doit être maintenue à une température voisine de cent degrés, sans laisser dégager un atome de vapeur; il suffit pour cela qu'elle soit recouverte d'une mince couche d'huile. On la

pousse à l'ébullition à l'instant où l'on doit y laisser descendre le corps chaud, dont la température s'obtient par le poids de l'eau vaporisée, soient :

T, la température du maximum de vaporisation ;

P, le poids, et *c*, le calorique spécifique du métal ;

E, le poids de l'eau vaporisée à cent degrés, poids qu'on obtient en retranchant les pesées avant et après l'expérience.

L'eau qui est à cent degrés ne peut recevoir de calorique sans qu'une quantité proportionnelle passe de l'état liquide à l'état de vapeur, sous la pression moyenne de l'atmosphère.

Comme chaque gramme d'eau a besoin de 540 unités de calorique pour se vaporiser, le calorique total, cédé par le corps qui a vaporisé E grammes d'eau, a dû être égal à 540 E. Or, chaque gramme de la masse P s'est abaissée de $(T - 100^{\circ})$ degrés, équivalens à $(T - 100)$ C unités. Le calorique transmis par le corps à l'eau vaut donc $P\,C\,(T - 100)$, et l'on doit avoir

$$PC(T-100)=540E \quad . \; . \; . \; (14)$$

formule au moyen de laquelle on peut connaître T, ou la température du maximum de vaporisation, quand on connaît E, ou la quantité d'eau vaporisée.

Pour savoir si la vaporisation à l'air libre est égale à celle qui aurait lieu dans la chaudière, sous une forte pression, je me suis servi de l'appareil suivant : figure 14, planche 2.

A est un globe creux d'environ quatre pouces de diamètre. Il est composé de deux hémisphères de fer portant des rebords B C, qui sont pressés hermétiquement l'un contre l'autre par un grand nombre de vis.

R est un robinet que l'on dévisse pour introduire de l'eau dans A, et qui, remis en place, doit plus tard laisser échapper la vapeur par une ouverture aussi petite qu'on veut. T T est un thermomètre de Fahrenheit, qui marque depuis 210 jusqu'à 390 degrés.

EXPÉRIENCES.

Après avoir introduit dans l'appareil une certaine quantité d'eau, on allume au-dessous une lampe à alcool, ou pour mieux dire, l'alcool qu'on a mis dans le vase D cylindrique et ayant deux pouces de hauteur. Dans toutes les expériences, la flamme large de l'alcool frappe le globe A, suivant une calotte inférieure au niveau *m n* de l'eau, qu'elle doit vaporiser. Bientôt cette dernière entre en ébullition, et sa vapeur, sortant par le robinet ouvert, entraîne l'air contenu dans A. Alors on ferme R et on laisse la température s'élever jusqu'au 390e degrés du thermomètre.

Quand le globe creux, l'eau et la vapeur qu'il contient ont atteint cette température, on éteint la lampe et l'on ouvre très peu le robinet; aussitôt la vapeur s'échappe et la colonne thermométrique s'abaisse lentement. Après quelques minutes, l'écou-

lement, qui vers la fin semblait être constant, augmente sensiblement. Cet accroissement du jet de vapeur, l'œil et l'oreille le perçoivent sans qu'on ait besoin de le diriger contre un tourniquet qu'il mettrait en mouvement. L'on note alors la température *t*, qui demeure constante pendant quelques instans, et cette température est celle du maximum de vaporisation; car au-dessous la vapeur qui s'échappe devient moindre.

Ces expériences ont été faites d'abord avec un appareil de cuivre jaune, et ensuite avec un autre appareil tout-à-fait semblable, mais dont la boule creuse était de fer.

M. Maupham, professeur de chimie, connu à Londres par son exactitude et son adresse pour les observations expérimentales, eut la bonté d'observer avec moi, à diverses époques, les résultats de plusieurs séries d'expériences. Les unes étaient faites avec l'appareil de fer ou de cuivre, précédemment décrit, les autres avec des disques de nature et de surfaces diverses. Au moment où ces disques possédaient la plus grande puissance de vaporisation, nous les plongions dans l'eau, maintenue, sans perte, à la température de son ébullition.

Je transcris ci-dessous les moyennes des résultats que nous avons obtenus.

1° Une chaudière de fer, dont la paroi intérieure n'est ni polie, ni pure, possède son maximum de force vaporisante dans les points élevés à 375° Fahrenheit.

2° Quand la surface de l'eau qui se vaporise est à l'air libre,

la température du fer, à son maximum de force vaporisante, est de 360 degrés.

3° Dans une chaudière de cuivre, le point de la paroi intérieure qui posséderait la force vaporisante maximum, serait de 355 degrés

4° Quand l'eau qui se vaporise est à l'air libre, la puissance maximum pour le cuivre est de 345 degrés.

5° A 375 degrés Fahrenheit, chaque mètre carré d'une chaudière de fer vaporise, par seconde, 70 grammes d'eau = V.

6° A 300 degrés, la vaporisation par mètre carré et par seconde n'est que de 30 grammes =V.

7° A 355 degrés, chaque mètre carré de cuivre peut vaporiser 67 grammes d'eau = V.

Avec ces valeurs de V, si l'on connait l'aire de la paroi intérieure d'une chaudière, servant d'enceinte à la vapeur et à laquelle on a laissé atteindre le maximum de vaporisation, l'on connaîtra la quantité de vapeur qu'elle doit développer en une seconde aussitôt que l'eau viendra la mouiller.

Si l'on se donne la peine de faire ce calcul pour une chaudière donnée, et si l'on calcule aussi, au moyen de la formule (13), la quantité de vapeur qui peut sortir par les soupapes, dont les diamètres sont connues, l'on trouvera que ces dernières ne sauraient empêcher l'explosion. Ajoutons que la vapeur développée instantanément ne leur donne pas le temps de s'ouvrir et qu'elle ne passerait pas à travers avec toute la vitesse corres-

pondante à sa force dans le premier instant de son écoulement.

Ajoutons surtout : 1° que la résistance des parois inégalement échauffées est beaucoup plus faible que lorsque la chaudière est à une température basse et la même partout ; 2° que la vapeur qui se développe en un instant agit comme un choc et doit rompre une chaudière qui aurait résisté à la même tension obtenue graduellement.

Pour compléter la théorie, je dois rappeler l'expérience que je fis, il y a dix ans, à l'effet de constater les deux dernières vérités.

EXPÉRIENCE.

Un tuyau de métal mince, à bases hémisphériques, de capacité connue, avait une ouverture munie d'un pas de vis. Je mis dans le tuyau un volume de poudre tel, qu'en produisant un volume gazeux mille fois plus grand, elle devait développer une force explosive de dix atmosphères au moment de son inflammation. Cela fait, je fermai l'ouverture et j'établis le tuyau sur un fourneau qui chauffait le bout contenant la poudre, tandis que l'autre bout plongeait dans une cuve d'eau froide.

Quand le métal fut assez chaud pour enflammer la poudre, la détonnation fit rompre le tuyau.

Or, ce même tuyau, essayé à froid avec une presse hydraulique, avait résisté à trente atmosphères.

TERMES DE FUSION DES MÉTAUX.

Le procédé suivi pour mesurer la température du maximum de vaporisation peut servir à déterminer les termes de fusion des métaux.

BC, fig. 15, planche 2, représente une sphère creuse de platine, ayant deux pouces de diamètre, à laquelle on a soudé un tube *a o*, ouvert par les deux bouts. Soit P le poids, en grammes, de la sphère et du tube de platine, soit p le poids de l'eau introduite par *a* dans l'appareil : on bouche l'orifice *a* avec un fil métallique, long de une à deux lignes, rivé dans le tube, et formé du métal dont on veut mesurer la température de fusion.

Cela fait, l'appareil est placé au-dessous d'un foyer, de telle sorte que *a* reçoit le coup de feu. Quand la chaleur est suffisante, le bouchon métallique se fond, et la vapeur de l'eau contenue dans la sphère s'échappe par le tube *o a* sur le foyer qu'elle éteint, ou qu'on retire. Au moment où la vapeur cesse de s'écouler, la température de l'appareil est de 100 degrés, et son poids, mesuré de nouveau, a diminué de *a* grammes, par exemple, qui représentent la masse d'eau vaporisée. Comme pour vaporiser un gramme il faut 540 unités de calorique, la chaleur emportée par la vapeur, qui s'est échappée du vase, était mesurée par 540 *a* unités ; d'un autre côté, l'eau qui reste étant à 100 degrés, sa masse $(p-a)$ possède $(p-a)$ 100 unités.

La platine, dont le poids est P, et la capacité égale à 0,035, en contient (0,035 P) 100. Donc, au moment où le bouchon s'est fondu, l'appareil possédait

$$100\,(p - a + 0{,}035\,P) + 540\,a$$

unités de calorique.

Si nous représentons par x la température commune à l'appareil et au bouchon, quand ce dernier s'est fondu, la chaleur de la sphère et de l'eau devait être mesurée par

$$(0{,}035\,P + p)\,x.$$

En égalant ces deux valeurs, on a la formule

$$(0{,}035\,P + p)\,x = 100\,(p - a + 0{,}035\,P) + 540\,a,$$

de laquelle on déduira, pour chaque métal, la température x de son terme de fusion.

CHAUDIÈRE LANCÉE DANS L'ESPACE.

Pour nous fixer, considérons une machine de la force de quarante-cinq chevaux, travaillant à quatre atmosphères. La chaudière doit pouvoir vaporiser un mètre cube d'eau par heure. Sa capacité doit être de cinq mètres cubes pour la vapeur, et de cinq mètres cubes pour l'eau. La surface du fond sera de 16 mètres carrés. Les parois latérales, qui reçoivent aussi l'action de la flamme, seront de 13 mètres carrés, en sorte qu'il y aura

29 mètres carrés de surface de chauffe et 29 mètres carrés pour l'aire de l'enceinte qui contient la vapeur.

D'après les ordonnances, la chaudière portera deux soupapes de 0 m, 05 de diamètre, une rondelle équivalente fusible à 162 degrés, et une deuxième rondelle fusible à 170 degrés, et dont l'aire sera quadruple.

Ces dimensions étant données, supposons qu'un mètre carré de croûte séléniteuse cesse d'adhérer au fond de la chaudière, et qu'une mince lame d'eau se vaporise entre elle et le métal.

Soient :

P, la force élastique de la vapeur fulminante, évaluée en kilogrammes sur un mètre carré;

p, la tension de la vapeur emprisonnée au-dessus du niveau;

a, le poids d'un mètre carré de la croûte séléniteuse et de l'eau qui pèse sur elle.

En adoptant la formule de M. Navier, sur la vitesse d'écoulement de la vapeur, on est conduit à

$$V=\sqrt{574022\{Log.\,P-Log.\,(p+a)\}}$$

dans laquelle V peut représenter la vitesse acquise due à la première impulsion de la vapeur fulminante, vitesse avec laquelle l'eau, soulevée par la croûte solide, va choquer le dôme de la chaudière, sur le fond de laquelle la première impulsion a été détruite.

Admettons que la vaporisation fulminante soit faite entre la

chaudière et le sel à la température de 190 degrés; dans ce cas; P = 12 atmosphères = 123600 kilogrammes sur un mètre carré; $p = 5$ atmosphères = 51500 kilogrammes.

La croûte de sel lancée ayant, par exemple, un mètre carré de base et un décimètre de hauteur, doit peser environ 250 kilogrammes.

La hauteur de l'eau qui pèse sur elle étant de 0,5 mètres, son poids est de 500 kilogrammes. Il suit de là que la masse lancée par la vapeur contre le dôme de la chaudière est

$$a = 750 \text{ kilogrammes.}$$

substituant ces données dans la formule, l'on obtient

$$V = \sqrt{574022 \{Log.\ 123600 - Log.\ 62250\}} = 520 \text{ mètres par seconde.}$$

La masse choquante pesant 750 kilogrammes, la quantité de mouvement imprimé à la chaudière de bas en haut, sera de 520 × 750 = 390,000 kilogrammes mus à la vitesse de 1 mètre par seconde.

Si l'on observe que la chaudière entière ne pèse que 10,000 kilogrammes, l'on verra qu'elle sera projetée avec une vitesse de 39 mètres par seconde, quand elle n'est pas recouverte de maçonnerie.

Enfin, si l'on admet que cette dernière retient la chaudière avec une force égale à trois fois son poids, la projection aura lieu encore avec 9, 7 mètres de vitesse pour un seul mètre carré de croûte séléniteuse lancée par la vapeur.

DEUXIÈME PARTIE.

OBSERVATIONS SUCCINCTES SUR LES DIVERSES PARTIES DU MÉCANISME DES BATEAUX A VAPEUR.

Dans la première partie de ce Mémoire, j'ai démontré les principes suivans :

1° Le feu est, après le vent, le moins coûteux des moteurs pour faire marcher les navires.

2° Le moyen le plus avantageux d'employer le calorique comme puissance motrice consiste à l'appliquer aux liquides pour les convertir en vapeur.

3° Parmi toutes les machines proposées jusqu'à ce jour, la meilleure est celle dans laquelle la vapeur agit alternativement sur chaque face d'un piston cylindrique, avec une tension de cinquante à cent livres par pouce carré, en se dilatant avant de se condenser.

Il résulte de là qu'on ne doit employer pour mouvoir les bateaux que des machines à haute pression et à détente, avec ou

sans condensation de la vapeur, selon la hauteur des eaux dans lesquelles on navigue.

Ces principes étant invariablement établis, je me suis occupé de la résistance qui, dans la navigation, doit être surmontée par les machines à détente. J'ai mesuré séparément, à toutes les vitesses, les divers élémens de cette résistance et le soulèvement des bateaux.

Connaissant les obstacles à vaincre, ainsi que le moteur et les machines à employer, j'ai donné les équations générales qui servent à résoudre tous les problèmes relatifs aux bateaux à vapeur, naviguant avec ou sans voiles.

J'ai terminé la première partie de ce Mémoire par la démonstration expérimentale et théorique des inconvéniens et des pertes de force que j'ai signalés dans presque toutes les parties des machines qu'on a jusqu'à présent proposées. Pour compléter mon travail, je vais rappeler succinctement chacun de ces défauts et leur cause; après cela, je donnerai la description d'un bateau à vapeur qui me paraît devoir être préféré à tous ceux qu'on a fait connaître jusqu'à ce jour.

MACHINE A BASSE PRESSION, COMMUNÉMENT EMPLOYÉE POUR LES BATEAUX A VAPEUR.

La figure 1, planche 3, représente la coupe d'une machine complète de bateau à vapeur. Les différentes parties dont elle se

compose sont assemblées dans un châssis de fonte *ecd*, sur un bâti commun, de manière à former une masse indivisible. Ordinairement chaque bateau a deux machines égales mues par une seule chaudière, ayant 2, 4 ou 6 foyers. Les deux machines sont placées parallèlement l'une à l'autre, de manière à laisser entre elles un passage au milieu; ce passage aboutit à un espace ménagé entre les cylindres et la chaudière, pour que le chauffeur puisse, sans gêne, entretenir les foyers. L'ensemble du mécanisme est fixé vers le milieu du navire, sur quatre poutres horizontales, parallèles à la quille et formant le plancher. Les bâtis de chaque machine portent chacun deux coussinets servant de supports à l'axe X des roues à aubes. Cet axe transversal est disposé de façon que les aubes sont placées du côté de la proue, au tiers environ de la longueur du bateau.

DESCRIPTION DE LA MACHINE.

La vapeur de la chaudière arrive par l'ouverture T dans la boîte de distribution S.

La position, dessinée pour le tiroir, permet à la vapeur de pénétrer par *a* dans le cylindre pour pousser le piston vers la base B. Pendant ce mouvement, la vapeur, qui est en B, s'écoule par *b*, descend par S, et s'élance dans le condenseur CC. Au moment où le piston va atteindre la limite de sa course, la queue R de l'excentrique *QP* fait glisser le tiroir de telle sorte, que la

vapeur de la chaudière arrive par *b*, tandis que celle enfermée dans A s'écoule par *a* dans le condenseur C C. Ainsi, la tige du piston, maintenu en ligne droite par les guides *f g*, unies à l'arbre coudé *g* Z, lequel oscille autour du centre fixe Z, exécute un mouvement de va-et-vient qui se transforme en rotation, en se transmettant à l'axe manivelle des roues à aubes.

A cet effet, les extrémités K de deux grands balanciers, oscillant aux deux bouts de l'axe D, sont liées par deux bielles aux extrémités d'une traverse horizontale fixée au bout L de la tige du piston. Les autres extrémités G des balanciers sont unies aux deux bras de la bielle G H, qui se termine inférieurement en fourche. Enfin, la bielle G H est assemblée, à coussinet, sur la coudure H de l'arbre de couche, ou axe manivelle X. Par cette disposition, les mouvemens du piston font osciller les balanciers qui, au moyen de la bielle G H, et de la manivelle H X, font tourner l'arbre X et les aubes qu'il porte.

Perpendiculairement à l'arbre X, est fixé l'excentrique qui mène la soupape à tiroir. Sur la gorge de l'excentrique tourne, à frottement doux, un anneau PQ, faisant corps avec la fourche R Q. La queue de cette dernière porte une encoche *n*, qui reçoit un tourrillon fixé au bras du levier coudé *m o n*. Quand l'excentrique tourne, par la rotation de l'arbre manivelle, la fourche R Q fait osciller autour de *o* le levier *n o m*; le bras *m* de ce dernier monte et descend, en élevant et abaissant alternativement la tige V du tiroir. Ainsi, la machine règle convenablement

d'elle-même la distribution de la vapeur motrice, qu'elle dirige alternativement sur chaque face du piston.

Pour retirer du condenseur C l'eau de condensation, ainsi que l'air contenu dans la vapeur de sortie, on emploie une pompe F dont la capacité est ordinairement le huitième de celle du cylindre. Cette pompe à air est mise en mouvement par deux bielles partant des balanciers, et s'unissant à une traverse horizontale portée par la tige E. L'air et l'eau qui s'accumuleraient dans CC sont aspirés par F, et refoulés par elle dans la bâche ouverte Y. Deux pompes alimentaires menées par les balanciers, agissent simultanément, pour restituer à la chaudière l'eau qui s'en échappe à l'état de vapeur. Si le niveau s'élève trop, le machiniste arrête l'une de ces pompes, dont les tiges εε passent dans des viroles fixes ϵϵ qui maintiennent leurs mouvemens en ligne droite.

Lorsqu'on veut changer la direction du mouvement, il faut rendre le tiroir immobile pendant que le piston fait une course, ou que l'arbre exécute un demi-tour. Le machiniste ferme le robinet qui arrête la vapeur venant de la chaudière, et il dégage de l'encoche qui le mène le bras *n* du levier coudé *nom*. En même temps il abaisse dans l'épaisseur de R une lame qui remplit l'encoche et qui termine un levier qu'on appelle clé. Quand la disposition de la clé fait disparaître l'encoche, la barre RQ va et vient sur le bras *n* sans entraîner le levier *mon* qui mène le tiroir. Le mouvement continuant, par la seule action de la vitesse acquise, le machiniste soulève la clé, pour laisser réengager le bras *n* dans l'en-

coche, quand il voit cette dernière revenir en sens contraire du mouvement qu'elle avait quand il l'a dégagée. Dès lors l'ordre d'introduction de la vapeur dans le cylindre se trouve interverti. Quelle que soit la position du piston, quand on ouvre le robinet à vapeur, le tiroir la laisse entrer dans le cylindre par l'ouverture opposée à celle qu'il aurait laissée ouverte dans le mouvement primitif. Le piston est poussé en sens contraire, et le bateau marche à reculons.

Quand on veut arrêter la machine il suffit d'intercepter la vapeur de la chaudière en fermant le robinet d'admission.

Pour commencer le travail « pour la mise en train » il faut purger les cylindres d'air. C'est à quoi l'on parvient en faisant mouvoir à la main la soupape glissante, au moyen du levier L', afin de laisser pénétrer la vapeur du cylindre successivement sur chaque face du piston. Par cette maneuvre, l'air et l'eau contenus dans le cylindre et dans le condenseur sont refoulés par la vapeur, à travers le piston F et la soupape de décharge dans la bâche ouverte Y. Pour chasser l'eau provenant de la vapeur qui s'est condensée dans la boite de distribution, on ouvre la soupape U, au moyen de la tige *s s*; aussitôt l'eau contenue dans S s'écoule par *i* et par *j* dans le condenseur CC; on referme ensuite la soupape.

Enfin, comme la puissance qui anime le piston est variable jusqu'à devenir nulle à la fin de chaque course, pour régulariser le mouvement on emploie deux machines, dont l'une produit le maxi-

mum d'effet quand l'autre donne le minimum ; la première décroît en puissance quand la seconde augmente, et réciproquement. Il suffit pour cela de donner à l'axe manivelle deux coudures à angle droit, et de disposer le mécanisme de manière que chaque tige du piston soit liée, comme nous l'avons décrit, à la coudure correspondante.

CHAUDIÈRES A BASSE PRESSION POUR BATEAUX.

Les chaudières en usage pour les machines à basse pression des bateaux à vapeur sont rectangulaires et à plusieurs foyers. La figure 4 planche 4 représente la coupe de l'un des foyers. C est le cendrier; G la grille sur laquelle brûle le combustible : la flamme, reçue d'abord dans des chambres entourées d'eau, s'écoule ensuite par des carneaux qui conduisent la fumée dans une cheminée commune. AB est la paroi qui reçoit le coup de feu; *m n* le niveau d'eau, H l'enceinte dans laquelle la vapeur s'emmagasine; y' z' x' est notre appareil préservateur : un seul bouchon fusible y' logé dans l'épaisseur de AB, suffit pour empêcher l'explosion dans chaque foyer, tout en prévenant la calcination du métal voisin du combustible.

Pour que la chaudière n'incendie point le navire, on l'établit sur une couche de briques s'élevant de quelques pouces au dessus des quatre poutres qui portent les machines. De plus, on laisse entre elles et les côtés du bateau un espace d'environ cinq déci-

mètres, et on la sépare des cylindres assez pour que le chauffeur ne soit pas gêné.

Nous venons de décrire la chaudière et les machines réputées les meilleures pour la navigation, examinons si l'opinion des constructeurs est justifiée par la science expérimentale et théorique.

OBSERVATIONS SUR LES CHAUDIÈRES.

Pour que les chaudières soient aussi bonnes que possible, elles doivent posséder les avantages indiqués ci-dessous dans l'ordre de leur importance :

1° Inexplosibilité, sans interruption du travail;

2° Vaporisation rapide;

3° Économie du combustible;

4° Durée et facilité pour les réparations;

5° Légèreté.

1° *Inexplosibilité.*

Nous avons démontré que, dans le nombre des appareils et des procédés qu'on a proposés depuis Waat, il n'y a pas un seul moyen de prévenir une seule des causes qui produisent les explosions fulminantes.

L'on verra comment dans nos chaudières, dont la description est à la suite, nous sommes parvenus à rendre toute explosion impossible, sans interrompre le travail des machines.

2° *Vaporisation rapide.*

M. Stephenson a démontré par expérience que le pouvoir vaporisant d'un mètre carré de chaudière chauffé par le calorique rayonnant directement du foyer, est égal aux sept tiers du pouvoir vaporisant d'un autre mètre carré de la même chaudière échauffé par le contact des gaz provenant de la combustion.

Cette expérience, confirmée par une longue pratique, prouve incontestablement que la vaporisation la plus rapide est opérée par les chaudières à foyers intérieurs; car elles présentent évidemment l'aire la plus grande au calorique qui rayonne tout autour du combustible. Ceci nous explique pourquoi les ingénieurs anglais qui savent bien la pratique, et pour lesquels la condition première est d'avoir constamment une grande abondance de vapeur, s'obstinent à conserver les chaudières en usage dans tous leurs bateaux. Guidés par une saine théorie et par l'expérience, nous avons mis les foyers dans l'intérieur de nos chaudières, où la combustion est activée par un ventilateur qui ne fait dépenser aucune force.

3° *Économie de combustible.*

La donnée précédente nous explique ce fait qui paraît positif, malgré la prétention contraire, savoir que :

« Les machines à haute pression dont les chaudières ont des foyers extérieurs sont, toutes choses égales, un peu moins économiques que les machines à basse pression, ayant des chaudières à foyers internes.

Dans nos chaudières nous avons réuni l'économie que donne la haute vapeur agissant dans les cylindres, à celle qui provient des surfaces de chauffe absorbant tout le calorique rayonnant.

Quelque notable que soit la différence d'économie pour les deux sortes de foyers, son importance disparaît devant les avantages des foyers fumivores et à l'air chaud.

MM. de Laplace et Lavoisier ont trouvé qu'un kilogramme de charbon, brûlé par de l'air froid, dans un calorimètre, y développe 7,220 unités de chaleur.

D'après cela, un kilogramme de houille devrait au moins vaporiser

$$\frac{7220}{620} = 11,6$$

kilogrammes d'eau prise à 20 degrés centigrades.

Or, dans les meilleures chaudières actuelles un kilogramme de houille de première qualité ne produit pas sept kilogrammes de vapeur : donc

« La perte provenant des fuites, du refroidissement, et surtout d'une combustion imparfaite, s'élève au chiffre énorme de 35 pour cent. »

Cette perte étant principalement due au combustible chaud entraîné par la fumée, il s'ensuit que le perfectionnement capital dans les chaudières consiste à les rendre fumivores.

A cet avantage principal se trouvent réunis dans nos chaudières ceux provenant d'une ventilation immense qui n'entraîne aucune perte de force, et d'une combustion parfaite activée par de l'air chaud.

4° Durée et facilité pour les réparations.

Les précipités séléniteux se déposant en plus grande abondance sur les parois de la chaudière qui reçoivent l'action la plus vive du feu, ces parois séparées de l'eau par une couche peu conductrice de la chaleur sont exposées à se brûler plus ou moins rapidement.

C'est pour éviter cet inconvénient qui ralentit en outre la vaporisation, que j'ai donné aux courans d'eau et de vapeur la disposition la plus convenable pour amener les sels au-dessous de la surface de chauffe.

Toutefois si l'on est trop long-temps à ouvrir les robinets de décharge pendant le travail des chaudières marines, il se forme des dépôts plus ou moins épais selon le temps.

Notre bouchon fusible indiquera au chauffeur qu'il a oublié d'ouvrir les robinets de décharge, et sa fusion préviendra l'accumulation de calorique provenant de cet oubli, tout en arrêtant la cause qui produirait une explosion ou qui brûlerait la chaudière.

Ajoutons que nos chaudières sont aussi faciles à réparer que

possible, puisqu'elles se composent de générateurs partiels sur lesquels on peut travailler en dedans comme en dehors.

LÉGÈRETÉ.

Il y a deux moyens de rendre les chaudières plus légères. Le premier consiste à y mettre peu d'eau, et le second à leur donner une surface métallique mince ou peu étendue.

Pour que le premier moyen n'exposât pas les générateurs à la rupture ou à la calcination, il fallait trouver un mode d'alimentation aussi régulier que le nôtre et qui se réglât de lui-même, comme on le verra plus loin.

Sous ce rapport, nos chaudières peuvent être aussi légères qu'il soit possible de les faire.

Le second moyen est directement contraire à l'économie du combustible; car l'économie demande des chaudières à haute pression et par conséquent des parois épaisses pour résister à la tension interne; en second lieu, pour avoir à peu de frais une vapeur abondante, il est indispensable de donner aux chaudières une grande surface de chauffe par contact, et surtout une vaste enceinte pour recevoir le calorique rayonnant.

Quand on ne tient pas à l'économie et qu'on ne craint point le danger, l'on peut diminuer l'aire des surfaces vaporisantes dans le rapport de sept à trois, qui est le rapport inverse de la puissance vaporisante du fer à 150 et à 190 degrés, mais

il faut pour cela maintenir les parois à la température énorme, dangereuse et très chère, de 190 degrés centigrade, qui est celle du maximum de vaporisation du fer.

Au reste, il ne dépendrait que de nous d'activer la combustion plus fortement que tout autre, puisque nous avons des ventilateurs immenses, sans aucune dépense de force; cela nous permettrait de diminuer le poids des chaudières reconnues les plus légères, en réduisant les surfaces de chauffe au minimum d'étendue, d'autant que nos foyers sont intérieurs.

DESCRIPTION DE NOTRE CHAUDIÈRE.

La figure 1, pl. 4, représente une section longitudinale de la chaudière. Les figures 2 et 3 sont deux coupes transversales faites par des plans verticaux, dont les traces seraient *mm*, *nn*. L'enceinte AAAA est une chambre rectangulaire, dont la face supérieure a la forme d'une voûte demi-cylindrique : elle enveloppe, de toutes parts, une chambre semblable BBBB, entourée d'eau et contenant deux foyers.

Pour augmenter la résistance des parois planes des deux enceintes, entre lesquelles se développe la vapeur, l'on a distribué dans toute leur étendue un grand nombre de points d'appui, comme dans les chaudières des locomotives en usage sur les chemins de fer. A cet effet, les parois des chambres étant parallèles deux à deux, l'on interpose entre elles des bouts de tuyaux

épais, de fonte, contre les bases desquels on rive les tôles parallèles au moyen de rivets longs, à larges têtes, qui passent dans les tuyaux C, C, C.

Dans la chambre BBBB sont fixés deux cylindres inclinés DD, EE, formant les canaux 1, 2, 3 de circulation de la flamme. L'inclinaison des cylindres bouilleurs rend plus facile le transport des sels au-dessous de la surface de chauffe. La flamme, forcée de descendre, échauffe, par un contact plus intime, le cylindre DD, ainsi que le fond AA. L'évasement de l'espace 3 diminue la quantité d'eau contenue dans la chaudière, tout en augmentant la surface de chauffe qui reçoit les produits des deux foyers G, H. G est une grille à houille, dont la combustion est activée par la roue voisine à aubes qui sert de ventilateur. H est la grille d'un second foyer fumivore, dans lequel on doit brûler du coke, ou de la houille qui a déjà perdu ses gaz dans le foyer G. Les petits fragmens de coke tombent de H sur G, dont les cendres s'écoulent dans le cendrier commun T. La grille H est formée de tubes de fer dans lesquels circule l'eau de la chaudière. Ces tubes horizontaux traversent les parois parallèles BB, BB, dans lesquelles ils sont hermétiquement fixés. Pour cela, chacun d'eux porte un disque d'épaulement à trois lignes de son orifice, tandis que l'autre bout taraudé porte un écrou. On engage d'abord les deux bouts de chaque tube dans les ouvertures correspondantes faites sur les faces parallèles BB, BB. Après cela, en vissant fortement

l'écrou de manière à l'écarter de la bride opposée, on presse hermétiquement l'écrou et la bride contre les parois parallèles de la chambre BBBB.

Nos plus grands bateaux à vapeur auront quatre chaudières, maintenues invariablement en contact par leurs faces latérales et communiquant entre elles pour la vapeur et pour l'eau. Les deux chaudières du milieu seront moins hautes que les autres, afin que les tiges des cylindres couchés horizontalement entre les réservoirs à vapeur, soient à la hauteur de l'axe des roues à aubes. Les quatre cheminées particulières iront aboutir à une seule, ou mieux encore à deux cheminées communes.

On peut diminuer la hauteur de nos chaudières : 1° en leur donnant quatre bouilleurs d'un diamètre plus petit, assemblés deux à deux invariablement de manière que les deux axes de chaque couple soient dans un plan horizontal ;

2° En supprimant le cylindre EE, et faisant passer la flamme de la houille dans un canal intérieur au bouilleur DD.

Avec des chaudières hautes et basses, on pourra toujours disposer les générateurs plus ou moins grands de la force motrice, de manière que les cylindres à vapeur puissent avoir la position horizontale indiquée ci-dessus.

COMBUSTION.

Les grilles G étant chargées de houille par les portes P, les

foyers H étant garnis de coke introduit par les portes Q, on allume les deux feux de chacune des chambres BBBB. Dès que la vapeur est assez forte pour mouvoir les machines, la combustion devient plus vive; alors chaque aube ventilateur injecte un excès d'air dans les cendriers fermés T des foyers placés de son côté. La flamme de la houille forme deux courans, dont le plus petit s'élève verticalement de G, tandis que le plus grand circule de l'une à l'autre face des bouilleurs, comme l'indiquent les flèches. Ces deux courans de flamme, de fumée et d'air chaud non décomposé sont forcés, par le ventilateur, de traverser le coke qui brûle sur H. Indépendamment du mélange d'air chaud et de fumée qui le traverse, le coke brûlant est alimenté par une lame d'air froid, que la tuyère, faite dans la porte Q, dirige sur la grille H convenablement inclinée. La fumée de la houille est dépouillée par ce foyer fumivore de tous ses élémens combustibles. Les produits invisibles de la seconde combustion se développent librement dans la vaste capacité 3, d'où ils s'écoulent par O dans une cheminée commune.

Cette disposition du foyer fumivore produit une combustion plus économique que celle qui a lieu dans les chaudières en usage, où la fumée qui s'échappe contient encore une quantité considérable de combustible chaud, qui s'élève à 35 pour cent, en défalquant la perte par les fuites et par le refroidissement de la chaudière. La combustion, alimentée par de l'air chaud, est beaucoup plus intense et plus économique. On dit que l'air

chaud économise 25 pour cent de combustible. La surface de chauffe est aussi grande que possible sous le même volume; enfin, le calorique rayonnant qui échauffe environ trois fois plus que le contact de la fumée éteinte, rencontre, à combustible égal, une plus grande surface normale quand il s'élance de deux foyers que lorsqu'il part d'un seul.

COURANS D'EAU ET DE VAPEUR.

De tous les points de la surface immense des parois métalliques fortement échauffées, partent des courans ascendans de vapeur et d'eau chaude. Ceux qui proviennent des faces antérieures et postérieures des chambres BBBB, fig. 1, s'élèvent rapidement avec des vitesses concourantes entre ces faces et des cloisons de tôle *bb*.

De l'autre côté des cloisons, dans *bb* AA, se forment des courans liquides descendans qui remontent ensuite entre BB et *bb* pour remplacer l'eau qui s'élève à l'état de vapeur.

Cette disposition des courans est parfaite. Le système à cloches superposées, qu'on a tout récemment proposé en France, compliquerait inutilement les chaudières, dans lesquelles il ne saurait établir des courans plus favorables à la vaporisation; il est moins convenable pour la conservation des bouilleurs, parce qu'il est moins apte que les cloisons en usage à prévenir les cou-

ches séléniteuses qui s'attachent aux parois des chaudières que le feu calcine alors; de plus, la distance assez étroite pour empêcher la vapeur naissante de s'élever entre les bouilleurs et les cloches, arrêterait bientôt les courans descendans, en se bouchant par les sels accumulés successivement sur les cloches.

Dans notre chaudière, les dépôts séléniteux, provenant de la vaporisation opérée par les parois verticales des chambres, sont amenés par les courans descendans dans l'espace T au-dessous des grilles. Pour prévenir aussi leur formation dans l'intérieur des cylindres, je fais arriver l'eau froide au sommet des bouilleurs DD, EE, et sortir par leur base inférieure l'eau chaude et les sels qu'elle charrie. A cet effet, contre les faces latérales BBBB, l'on a rivé deux feuilles de cuivre formant deux sillons ou canaux. Les canaux *a a*, fig. 2, sont ouverts par le bas seulement, tandis que *b b*, fig. 3, ont deux orifices, dont l'inférieur est moins *élevé que le dessous de a a*. Il résulte de là que l'eau d'alimentation est amenée au sommet des bouilleurs par les sillons *a a*, communiquant avec les tuyaux *d*, *e*, pour aller remplacer l'eau chaude qui s'écoule par *d'* et par *e'* dans les sillons *b b*, le long desquels elle s'élève pendant que les sels tombent.

Ainsi, les parois métalliques sont maintenues nettes au-dessus des coups de feu, ce qui favorise leur puissance vaporisante, et leur durée, qui, dans les chaudières marines, *est, au plus, de trois ans et pourrait n'être que d'un jour.*

R est un grand robinet ou une soupape de décharge, qui sert à vider à la fois l'eau des cylindres et de toute la chaudière.

NIVEAU CONSTANT.

Pour maintenir l'eau de la chaudière à une hauteur constante, j'emploie une soupape-flotteur qui fonctionne régulièrement, quelles que soient les agitations du niveau.

La chaudière est alimentée par deux pompes dont l'une suffirait seule s'il n'y avait pas de variations dans la dépense et dans la production de la vapeur motrice. La seconde pompe, que j'appelle régulatrice, est beaucoup plus petite que la première. Lorsque les deux fonctionnent à la fois, elles injectent dans la chaudière un excès d'eau qui tend, dans tous les cas, à faire monter lentement le niveau. Pour empêcher ce dernier de s'élever au-dessus d'une hauteur limitée d'avance, j'ai disposé la soupape régulatrice de manière que son piston plongeur, sans cesser de se mouvoir, cesse d'injecter de l'eau alimentaire dans la chaudière, quand celle-ci en contient déjà trop. Si l'on met la soupape-flotteur au-dessous du niveau régulier, quand ce dernier baissera trop, la pompe régulatrice qui fonctionnait sans injecter de l'eau étrangère commencera son alimentation pour augmenter celle de la grande pompe alimentaire. La petite pompe régulatrice *xyz*, fig. 1, est placée au-dessus de la chaudière. *x* est le piston plongeur; *yv* le tube d'aspiration dont la

soupape sphérique est en y; yz est le tube de refoulement dont la soupape z est fixée à la hauteur oo que le niveau ne doit pas dépasser. Cette soupape sphérique, creuse, plus légère que l'eau, est emprisonnée dans le tube L qui la met à l'abri des agitations de l'eau. Comme ses parois métalliques sont très minces, il faut qu'elle soit pleine de vapeur qui balance exactement la pression extérieure. Pour cela, il suffit d'introduire dans z quelques gouttes d'eau par une ouverture que l'on bouche ensuite.

A la hauteur du centre de la soupape-flotteur l'on a fait autour de L une rangée horizontale de petits trous oo. Lorsque les deux pompes alimentaires fonctionnent à la fois, elles tendent à élever lentement le niveau. Dès que ce dernier est au-dessus des petites ouvertures oo le liquide entre dans L et soulève la soupape : aussitôt la vapeur, poussant devant elle un peu d'eau, s'élance par yz dans le corps de la pompe alimentaire; le piston x, ne faisant plus le vide, n'aspire plus de l'eau et l'alimentation cesse. Pendant ce temps le niveau s'abaisse, le flotteur descend et finit par refermer le tube yz. La vapeur, isolée dans la pompe alimentaire, se comprime et se dilate par les mouvemens du piston qui la liquéfie quand il est suffisamment froid. Alors l'aspiration de l'eau recommence ainsi que son injection dans la chaudière. Pour rendre plus rapide le refroidissement dans xy, j'emploie pour piston un tuyau plongeur fermé par un bout, son autre base étant ouverte à l'air qui refroidit à la fois ses parois intérieures et extérieures.

APPAREIL QUI EMPÊCHE LES CHAUDIÈRES D'ÊTRE BRULÉES SOUS DES COUCHES DE SELS ET QUI, DANS TOUS LES CAS, PRÉVIENT LEUR EXPLOSION *sans arrêter les machines.*

Malgré la constance du niveau, nonobstant les soupapes de Papin, les rondelles fusibles, les tubes de sûreté ou manomètres ouverts, les globes-feuilles-tubes de moindre résistance ou de fusion, il est certain que les chaudières peuvent éclater. Le seul moyen d'empêcher leur explosion, dans tous les cas, est d'employer nos bouchons fusibles qui permettent à la vapeur d'aller éteindre en partie les foyers, aussitôt qu'ils ont produit dans les parties les plus échauffées, une température au-dessous de laquelle il n'y a aucun danger.

Dans nos chaudières, il suffit d'un appareil placé en $x'z'y'$ pour chaque enceinte BBBB, fig. 1; car, si les parois chauffées se couvrent de dépôts, ils seront plus abondans sur la surface horizontale BB qui reçoit le coup de feu, et si l'eau s'abaisse dans la chaudière, le point y' sera le premier découvert. Donc la température sera toujours plus forte en y' que partout ailleurs et il suffira de lui donner une limite en ce point, en y mettant un bouchon convenablement fusible. Supposons que par une cause quelconque la paroi BB atteigne la température de fusion du bouchon logé dans son épaisseur, ce dernier se fondra; la vapeur de la chaudière entrant par les ouvertures z' dans le tube $x'y'$, s'élancera de haut en bas, à travers les deux grilles H, G; elle éteindra ou

refroidra le coke et la houille, tant par son contact qu'en repoussant l'air nécessaire aux deux combustions. Quand le danger est passé, le chauffeur, averti par le bruit de la vapeur qui sort, doit fermer l'ouverture *y'* quand il voit diminuer la vitesse des pistons. Pour cela il lui suffit de prendre une balle ou un tronc de cône fusible, qu'il laisse tomber, par la base la plus large, dans une poche ménagée dans la clé du robinet *x'*. Quand la vapeur qui refroidit les foyers doit être arrêtée, il n'y a plus qu'à tourner le robinet d'un demi-tour. Au même instant le bouchon fusible tombe, et le courant de vapeur le lance dans l'ouverture *y'* où il se moule hermétiquement.

Bientôt les machines reprennent leur vitesse, qu'on peut ne pas laisser ralentir, et le bateau est sauvé d'une explosion, sans tomber dans un écueil ou dans les mains d'un ennemi.

Dans les chaudières des bateaux à basse pression et dans celles de M. Seguin, attribuées à Stephenson, il ne faut qu'un de nos appareils au-dessus de chaque foyer. Voyez fig. 4, pl. 4.

PERFECTIONNEMENT ÉCONOMIQUE DANS LES SOUPAPES DE PAPIN.

Pour prévenir dans les cas ordinaires la fusion de nos bouchons préservateurs, nous emploierons deux soupapes de Papin qui devront s'ouvrir successivement avant que la chaudière puisse atteindre la température limitée que lui assignent nos bouchons. La plus résistante des deux soupapes aura la grandeur voulue

par les ordonnances ; la plus légère sera très petite, et disposée de telle sorte qu'en s'ouvrant la première elle laissera sortir la vapeur dans un tuyau qui la dirigera de haut en bas contre un ou deux foyers. Quand la température de la chaudière s'élèvera trop haut, la soupape régulatrice l'abaissera rapidement en lâchant une petite quantité de vapeur qui éteindra partiellement ou refroidira les deux foyers.

Les chaudières communes dont la température devient trop forte par une foule de causes, ne sont maintenues dans leur état normal que par la perte d'une grande quantité de vapeur ; cette perte, dans la navigation littorale des rivières, s'élève quelquefois à vingt pour cent. Un pareil fait expérimental doit indiquer suffisamment le degré d'importance de notre perfectionnement.

PURIFICATION DE LA VAPEUR MOTRICE.

Pour que la vapeur motrice contienne le moins d'eau possible, nos chaudières partielles sont chacune surmontée d'une cloche S dont la base ferme le trou de l'homme par une toile métallique. Du sommet de ces cloches partent les tuyaux qui conduisent la vapeur dans les boîtes de distribution.

Dans les grandes machines à quatre chaudières, l'on économiserait le combustible en recevant d'abord la vapeur dans deux réservoirs cylindriques, où elle se dépouillerait mieux de son eau. Ces réservoirs seraient logés dans les intervalles extrêmes

formés par les chaudières 1 et 2, 3 et 4. Les cylindres à vapeur étant alors entre les deux réservoirs, l'on prendrait dans chacun de ces derniers la vapeur qui doit agir dans le cylindre voisin.

DES CYLINDRES A VAPEUR.

Quand les pistons atteignent les bases des cylindres, leur action est presque nulle, et il y a perte de force ou de vitesse. Plus le cylindre est court, plus les œuvres mortes se répètent et moins la machine est bonne : la disposition actuelle des cylindres ne permet pas qu'on les allonge pour rendre leur action plus efficace. D'un autre côté, comme ils sont exposés à un rapide courant d'air qui afflue dans les fourneaux, ils se refroidissent considérablement.

Les machines de nos bateaux à vapeur ont des cylindres très longs, sans aucun inconvénient. Ils ne se refroidissent point, parce qu'ils sont placés horizontalement sur la chaudière. Leurs pistons métalliques, quoique dans une position horizontale, sont parfaitement graissés, et leurs tiges, maintenues horizontalement par deux points, font qu'ils pressent également le contour des cylindres dans lesquels ils se meuvent.

Quoique les machines des bateaux aient deux pistons, dont l'un produit son maximum d'effet quand l'autre donne le minimum, la puissance motrice est loin d'être uniforme. A chaque tour de roue, il y a deux aubes qui produisent un choc plus

violent que les autres, ce qui nuit au mécanisme et aux voyageurs. Cette puissance immense, irrégulière, étant toute concentrée sur un seul axe manivelle qui doit entraîner la masse du navire, il faut que cette manivelle des roues soit colossale, ce qui fatigue la carène et dérange les quatre points d'appui qui portent l'axe en le bridant. Or, la moindre déviation de la direction droite des quatre points d'appui augmente considérablement le frottement de l'arbre dans les coussinets qui le maintiennent, tout en affaiblissant d'autant la puissance rotative.

Nous avons évité ces inconvéniens, bien plus graves qu'on ne le suppose, en employant, dans les grandes machines, quatre cylindres fondus deux à deux. Ces cylindres sont unis tous les quatre en un seul corps et portés par deux bras parallèles assemblés sur les axes de deux paires de roues à aubes.

DES PISTONS.

Le frottement du piston, et la vapeur qui se perd entre son contour et le cylindre, croissant comme la circonférence, tandis que la force motrice augmente comme l'aire de la base, il s'ensuit que les pertes de force, provenant du piston, sont en raison inverse de son diamètre, quand on les compare à la puissance effective. Sous ce rapport, il vaudrait mieux employer les machines à basse qu'à haute pression; car pour ces dernières, la somme des déchets du piston métallique s'élève de 20 à 24 pour

cent, dont 0,07 centièmes pour le frottement seul, tandis que dans les machines à basse pression la perte totale n'est que 0,13, qui sont presque entièrement dus au frottement de la garniture de chanvre. Ce déchet considérable peut se réduire à 8 ou 10 pour cent, quand les pistons sont bien faits et continuellement humectés de suif dans tous les joints. Nous obtenons cette réduction notable dans les pertes, quoique nos pistons soient horizontaux, en les construisant de la manière suivante.

DESCRIPTION.

Le corps du piston que je propose est une masse cylindrique de fonte P, ayant au centre une cavité destinée à contenir du suif fondu. Figure 1, planche 1. Autour de la surface frottante l'on a creusé deux sillons cylindriques, séparés l'un de l'autre par une épaisseur de fonte *gg*, formant le milieu de la partie pleine du piston, dont les épaisseurs *m*, *n* forment les bases. Les sillons *ee*, *ff*, parfaitement dressés, sont remplis chacun par une bande circulaire d'acier trempé roulé deux fois sur elle-même et taillée de façon que l'épaisseur est enfermée entre deux faces cylindriques parallèles. L'on place les anneaux d'acier dans les sillons en les ouvrant un peu, malgré l'action de leur ressort qui les referme. Au fond de chaque sillon sont des ouvertures d'une ligne et demie de diamètre, allant aboutir dans la chambre à suif, ménagée au centre du piston. Cette

chambre est en communication avec un réservoir extérieur porté par la tige du piston, laquelle est percée, suivant son axe, dans toute sa longueur. Il résulte de là que les anneaux d'acier, formant la surface frottante, sont toujours humectés de suif fondu, qui rend ce piston plus parfait qu'aucun de ceux que l'on emploie. Cette disposition est celle que j'ai imaginée pour les cylindres horizontaux de nos locomotives voyageant sur les routes communes.

DES ROUES A AUBES.

Des expériences nombreuses faites en Angleterre, et dont les résultats étaient prévus par le calcul, ont démontré que la roue à aubes est le plus efficace des appareils proposés pour mettre en mouvement les bateaux à vapeur.

J'ai décrit les différens systèmes de roues à aubes pivotantes, qui compliquent inutilement le mécanisme et qu'il n'est plus permis d'employer depuis l'invention des aubes à échelons fixes.

Pour faire mouvoir le bateau, les impulsions des aubes doivent surmonter :

1° La résistance qu'oppose à la marche du navire l'eau soulevée par la proue et repoussée par le maître-couple ;

2° La réduction de pression qui a lieu contre la poupe qui fuit l'eau ;

3° Le frottement de l'eau contre la partie plongée et le choc oblique des vagues formées par la progression du bateau et par l'action des aubes, vagues qui retombent en partie sur la carène qu'elles poussent en arrière.

L'analyse de toutes ces résistances nous a fait voir que l'on peut, avec la même force, augmenter la vitesse de la marche,

1° En diminuant l'aire du maître-couple, et augmentant convenablement la longueur du bateau pour que l'eau déplacée soit du même volume.

2° En augmentant l'aire des aubes et diminuant leur vitesse relative de telle sorte que la même quantité de puissance agisse plus efficacement contre l'eau.

INCONVÉNIENS D'UNE SEULE PAIRE DE ROUES A AUBES.

Les conditions précédentes ne peuvent être suffisamment remplies quand on emploie une seule paire de roues à aubes. En effet :

Si l'on diminue le maître-couple en allongeant le bateau, le frottement latéral augmente, le navire est peu stable; il roule ou se jette facilement de côté, ce qui augmente la résistance et incommode les voyageurs.

La proue et la poupe se trouvant trop éloignées du centre de gravité des machines et du point d'application de la puissance motrice, la carène se fatigue et tend à se déformer.

Si l'on augmente l'aire des aubes, la quantité d'eau que leur émersion soulève, s'accroît ainsi que la perte de force correspondante. Une plus grande masse d'eau, lancée obliquement contre les flancs du bateau, augmente le frottement latéral. Enfin dans les rivières peu profondes, une aube très étendue laisse un vide dans lequel se meut l'aube suivante, la carène s'enfonce davantage et elle se déforme parce qu'elle est moins soutenue dans les parties les plus pesantes.

Les plus graves de ces inconvéniens ne seraient pas détruits par l'emploi d'aubes composées de parties échelonnées ni par aucun des systèmes qui compliquent inutilement le mécanisme en faisant pivoter les aubes.

Nous pouvons, sans tomber dans aucun de ces défauts, allonger le navire pour diminuer la résistance de son maître-couple alors plus étroit.

SYSTÈME D'AUBES PLUS CONVENABLE.

Pour cela nous donnerons à nos bateaux deux paires de roues à aubes qui se meuvent simultanément. Ces quatre roues égales sont de même diamètre que celles en usage, mais leur largeur est moindre. Pour que la vitesse imprimée à l'eau par les roues de devant n'affaiblisse pas l'impulsion produite par celles de derrière, les premières sont éloignées du bateau de toute la largeur des roues de l'arrière qui sont placées contre la carène; il résulte de là que :

1° Les aubes de devant étant plus rapprochées de la proue et plus éloignées de la carène, le mouvement transversal produit par leur immersion détourne en partie l'eau qui s'amoncelle au devant de la proue, et diminue la résistance opposée au maître-couple.

2° L'onde transversale, produite par leur émersion, diminue la vitesse longitudinale de l'eau qui se dérobe moins à l'impulsion des aubes de derrière.

3° Les roues de l'arrière étant étroites et plus rapprochées de la poupe, la masse d'eau qu'elles soulèvent est moins grande, la perte de force correspondante est moindre, les vagues retardatrices sont moins fortes, et leur frottement plus faible s'exerce sur une étendue plus courte de la carène.

DU BATI QUI LIE ENTRE ELLES LES DIVERSES PARTIES DU MÉCANISME.

Enfin, pour que le mécanisme des bateaux marins ne soit pas dérangé par le choc des lames contre les roues, les diverses parties des machines motrices sont liées entre elles par des murailles de fer. Les quatre murailles colossales qui maintiennent les machines d'un bateau de la force de deux cents chevaux, les quatre balanciers énormes qui transmettent les mouvemens, tiennent beaucoup de place et augmentent considérablement le poids.

Nous sommes heureux d'avoir pu les supprimer, tout en aug-

mentant la solidité du mécanisme, dont la faible dépense en combustible promet la navigation lointaine à la vapeur.

Nous avons signalé succinctement les défauts graves et nombreux des machines actuelles des bateaux à vapeur; nous avons désigné les perfectionnemens dont elles sont susceptibles; il nous reste à décrire le mécanisme que nous proposons et qui, plus léger, plus puissant, plus économique, permet d'atteindre la vitesse à laquelle la résistance de l'eau diminue, au lieu d'augmenter selon les lois naguère admises.

DESCRIPTION D'UN NOUVEAU SYSTÈME DE MACHINES POUR LES BATEAUX A VAPEUR.

La carène et les machines d'un bateau à vapeur doivent remplir des conditions diverses, selon qu'on le destine à la mer, aux rivières ou aux canaux. Toutefois, les dispositions générales du mécanisme étant les mêmes, pour tous les cas, nous avons cru ne devoir faire qu'un seul dessin. Ce dessin représente donc la machine fondamentale applicable à tous les bateaux, et les parties accessoires spécialement nécessaires à certaines navigations.

DESCRIPTION DU MÉCANISME D'UN BATEAU A VAPEUR DE LA FORCE DE 60 A 300 CHEVAUX.

La planche 5 représente la portion du plan horizontal du bateau, dans laquelle sont établies la chaudière et les machines.

Les lignes AAA, BBB indiquent les côtés de la carène. X, Y sont les pompes alimentaires destinées à maintenir, dans la chaudière, le niveau constant. Leurs plongeurs sont menés, par les bras *x*, *y*, unis aux tiges des pistons des cylindres. P, Q = R, S, sont les cylindres à vapeur foudus ensemble deux à deux, et assemblés invariablement par les bases L L, communes aux deux couples. C*p*C, D*s*D sont les axes manivelles de chaque paire de roues à aubes. Ils ont chacun deux coudures *p*, *q* .. *r*, *s*, situées dans des plans perpendiculaires entre eux. Les coudures de deux cylindres opposés doivent aussi se trouver dans les plans normaux, afin que la puissance rotative soit uniforme.

Les axes manivelles sont fixés parallèlement au moyen des coussinets *c*, *c* .. *d*, *d* portés par la chaudière. Leurs extrémités sont appuyées sur les poutres E C D, F D C qui font corps avec les côtés du navire. Sur les parties inférieures des coussinets *c*, *d* .. *c*, *d* sont assemblés deux supports horizontaux et parallèles GG, HH. Ces supports, unis entre eux par les traverses G H, G H, sont ainsi liés à la chaudière qui est placée au-dessous et qui dépasse les axes. Les quatre cylindres à vapeur P, Q, R, S sont fixés horizontalement par leurs oreilles *a*, *a*, *b*, *b* au milieu des supports GG, HH, immédiatement au-dessous de la chaudière αα' ββ'. θ,θ sont deux grandes capacités contenant de la houille.

Dans l'intérieur de chaque cylindre est un piston semblable à celui que j'ai décrit. Les extrémités des quatre tiges M, N, T, S

sont liées aux quatre coudures correspondantes des axes, au moyen des bielles articulées *m, n, t, s*. Les articulations *e, e, e, e* des tiges avec les bielles portent chacune une poulie qui peut tourner entre deux barreaux d'acier cylindriques et parallèles. Ces barreaux directeurs étant vissés d'une part sur les couvercles des cylindres et fixés en *f, f, f, f* sur les traverses GH, GH, leur immobilité maintient en ligne droite le centre des poulies, et par suite les tiges des pistons dirigées d'ailleurs par leurs boîtes à étoupes.

ACTION DE LA VAPEUR SUR LES PISTONS.

La vapeur, développée dans la chaudière que nous avons décrite planche 4, se dépouille complètement de son eau avant d'aller agir dans les cylindres. A cet effet, elle passe à travers une forte toile métallique de cuivre servant de base à la cloche S, figure 1, planche 4, qui recouvre le trou de l'homme dans chaque chaudière particlle. Les cloches ou dômes S des figures 1 et 2, communiquent avec un réservoir de vapeur. La vapeur pure, contenue dans ce réservoir, se rend, à travers un tuyau muni d'un robinet K, dans les boîtes de distribution U, V, communes aux cylindres P, Q....R, S, planche 5.

Dans chacune de ces boîtes U, V se trouvent deux soupapes glissantes, et deux rangées de trois ouvertures chacune, désignées par les chiffres 1, 2, 3, dans la boîte qu'on a dessinée sans

couvercle. Chacun des tiroirs $r' r'$, $s' s'$ glisse sur les trois ouvertures qui laissent entrer la vapeur dans le cylindre voisin, alternativement sur chaque face du piston. Le mécanisme des soupapes glissantes étant le même pour les quatre cylindres, il suffit de l'expliquer pour un seul.

Le machiniste ayant ouvert le robinet d'admission, la vapeur de la chaudière arrive du réservoir où elle est dépouillée d'eau dans la boîte à soupape V. Là, elle presse avec toute sa force la partie supérieure du tiroir contre la face plane sur laquelle il doit glisser hermétiquement. Quand la soupape et le piston se trouvent dans les positions représentées dans la figure 1, la vapeur, entrant par 1 dans le cylindre R, repousse le piston vers la base L. Pendant ce temps, la vapeur qui se trouve entre le piston et la base L, s'échappe par le conduit 3 dans l'ouverture 2, qui aboutit au condenseur. Au moment où le piston arrive tout près de L, le tiroir $r' r'$ est poussé par sa tige a dans la position du second tiroir $s' s'$ qui correspond à celle du piston parvenu au fond L du cylindre S.

Les excentriques étant assemblés sur l'arbre perpendiculairement à la coudure des pistons correspondans, quand ces derniers se trouvent à la limite de leur course, leurs tiroirs sont dans la position moyenne. Dans cette position, qui est celle de $s' s'$, la soupape glissante bouche les ouvertures 1 et 3; mais comme elle est dans son mouvement le plus rapide, ces ouvertures ne sont fermées qu'un instant, *pendant les œuvres mortes*. A

l'instant suivant, aussitôt que la manivelle dépasse l'œuvre morte, ou que le piston change de direction, l'excentrique amène le tiroir *s'* dans la position où se trouve déjà *r'*. Dès lors la vapeur de la chaudière entrant par 1 dans S, repousse le piston vers L, tandis que la vapeur opposée repasse par 3 et par 2, pour aller au condenseur.

Ainsi, la soupape glissante, exécutant un mouvement de va-et-vient, laisse entrer dans le cylindre la vapeur qui va presser alternativement chaque base du piston, pendant que la vapeur qui vient d'agir s'échappe dans l'air ou dans le condenseur.

EXCENTRIQUE.

Pour obtenir le mouvement des tiroirs, on attache leurs tiges aux bielles fixées à ~~l'anneau de chacun~~ des excentriques, qui font corps avec les axes manivelles DD, CC, figure 1, planche 5. Par la rotation des axes, les excentriques tirent et poussent alternativement les soupapes qui fonctionnent sur les ouvertures de distribution, comme nous venons de le dire. La vapeur imprime des mouvemens de va-et-vient aux pistons, qui les transmettent, au moyen de leurs tiges, aux bielles attachées aux coudures des arbres; la rotation de ces derniers entraîne les deux paires de roues à aubes qui frappent simultanément l'eau pour faire avancer le navire.

DÉTENTE.

Dans nos machines, les excentriques ont la forme voulue pour effectuer en deux fois le mouvement total des soupapes glissantes. La première fois, le premier mouvement de la soupape emprisonne la vapeur quand elle remplit une portion du cylindre. Cette vapeur emprisonnée continue alors à pousser le piston par sa force élastique; après quoi la seconde partie du mouvement de la soupape la laisse échapper.

Pour qu'on puisse faire varier diversement la détente, l'excentrique se compose de deux pièces, qu'on fixe diversement l'une sur l'autre au moyen d'une vis de pression. Leur assemblage donne à l'excentrique une figure à trèfle, dont la rotation produit deux mouvemens plus ou moins espacés.

Nous n'insisterons pas davantage sur la forme ni sur le mouvement des soupapes, faisant fonctionner la vapeur à pression pleine ou à détente, parce qu'elles sont universellement connues. Seulement nous ferons observer que, dans nos machines, qui agissent à haute pression et à détente, l'économie qu'on obtiendrait, en donnant à chaque cylindre deux soupapes glissantes au lieu d'une, est insignifiante; car lorsqu'on emploie la vapeur ayant une force élastique de quarante à soixante livres par pouce carré, les tuyaux qui la conduisent de la chaudière aux cylindres sont suffisamment grands quand leur section transversale a pour aire le cinquantième de l'aire des pistons. D'après cela,

comme les canaux qui vont d'une seule boîte de distribution aux deux bases du cylindre ont une longueur égale à la demi-course du piston, la vapeur logée dans ces canaux, et qui se perd à chaque course, serait le centième de la vapeur utilisée. Cette perte, qui peut se réduire encore de trente pour cent dans les machines à détente, et si l'on a égard aux frottemens du deuxième tiroir, montre qu'il vaut mieux simplifier le mécanisme en ne donnant à chaque cylindre qu'une seule soupape.

MANŒUVRE DU BATEAU.

Le machiniste, placé sur le pont, reçoit directement les ordres du capitaine, ce qui est plus avantageux que la disposition actuelle dans laquelle on est obligé d'employer un mousse uniquement à les lui transmettre. La manœuvre du bateau se fait comme dans les autres, mais avec plus de facilité, parce que les appareils à diriger sont plus à la portée du machiniste et moins nombreux.

Pour faire marcher le bateau en arrière, nous ferons usage du procédé connu.

L'on sait que la barre K', menée par l'excentrique, n'est pas unie invariablement à la tige qui mène la soupape. Elle est terminée par une clé, par un levier, dont le bras porte une encoche *r* dans laquelle se loge l'extrémité recourbée de la tige qui mène le tiroir, planches 3 et 5. Quand la tige est dans l'encoche

de la clé, la barre K′, menée par l'excentrique, communique au tiroir son mouvement de va-et-vient. Mais si le machiniste soulève la clé pour dégager la tige *r*, logée dans son encoche, la soupape glissante reste immobile pendant la rotation de l'excentrique et la marche du piston. Dès lors, pour faire marcher le bateau en arrière, il suffit de fermer le robinet d'admission de la vapeur et de rendre le tiroir immobile pendant une demi-révolution de l'axe : alors la position de la soupape est telle, que si l'on ouvre le robinet R, la vapeur de la chaudière s'introduit dans le cylindre pour pousser le piston en sens contraire du mouvement primitif.

Nous venons de décrire la partie fondamentale du mécanisme commune à tous nos bateaux à vapeur; nous allons indiquer ce qui complète la machine la plus convenable pour chaque espèce de navigation.

BATEAUX DESTINÉS AUX RIVIÈRES PEU PROFONDES.

Quand les bateaux sont destinés à naviguer sur des rivières peu profondes, les machines doivent être légères et occuper peu de place. Alors les quatre cylindres se réduisent à deux unis et assemblés par leur base, de manière que les deux axes sont en ligne droite. Alors aussi il faut que la chaudière ait une grande puissance de vaporisation sous un petit volume. Cette condition ne peut être remplie que par une combustion plus efficace et plus rapide que celle des foyers ordinaires. Nous pouvons l'obtenir en

faisant fonctionner nos deux roues de l'arrière D' D' comme deux immenses ventilateurs.

A cet effet, les tambours qui enveloppent les aubes sont ouverts latéralement autour de l'axe DD, et leur circonférence descend tout près de l'eau, du côté seulement de l'immersion des aubes. La figure 9, planche 1, est la coupe de l'un de ces ventilateurs. Les flèches indiquent le sens du mouvement des aubes, et la ligne *m n* est le niveau de l'eau. Comme ce dernier varie par le poids du bateau, la circonférence du tambour porte une planche mobile à charnière, dont le bord inférieur R peut s'approcher plus ou moins du plan de flottaison.

Quand les aubes tournent, l'air qui s'introduit par le centre des tambours est chassé vers la circonférence; il s'engouffre dans les capacités béantes B L, d'où il s'élance par les tuyaux XX, YY dans les foyers correspondans de la chaudière. E est une échancrure faite dans la paroi E B pour laisser tomber l'eau qui s'échappe tangentiellement des aubes. R X est la corde qui sert à élever plus ou moins la planche E R pour laisser échapper la portion convenable de l'air chassé par le ventilateur, qui en injecterait beaucoup trop dans les foyers.

Quant aux machines, elles doivent, pour être plus légères, agir à haute pression et à détente, sans condensation. Nous ferons observer que les pompes alimentaires X, Y maintenant d'elles-mêmes la constance du niveau, elles n'ont pas besoin d'être immédiatement à la portée du machiniste.

NAVIGATION SUR DES RIVIÈRES QUI ONT DES PASSAGES TRÈS RAPIDES.

Si les rivières ont des passages très rapides, il faut que l'on puisse accroître de beaucoup et instantanément la force des machines; car il est fâcheux de se trouver arrêté par un courant rapide et court, ou d'être obligé pour le vaincre d'employer des chevaux quand on a la vapeur.

Le plus simple moyen d'y parvenir est d'augmenter encore momentanément la puissance vaporisante de la chaudière. C'est à quoi nous parvenons en laissant échapper un jet de la vapeur sortante, par chacune des cheminées, afin d'aspirer la fumée, pendant que l'air est injecté, sous les grilles, par les ventilateurs.

BATEAU POUR LA MER, POUR LES CANAUX OU POUR LES RIVIÈRES PROFONDES.

Quand les bateaux sont destinés à naviguer sur mer, dans des canaux, ou dans des rivières profondes, il est plus économique d'employer des machines à haute pression à détente et à condensation. Toutefois le mode actuel de condensation complique le mécanisme et détruit rapidement les chaudières alimentées par l'eau de mer. Pour ces dernières nous avons cherché à condenser une partie de la vapeur en vase clos, tout en simplifiant le mé-

canisme, afin d'alimenter, autant que possible, avec de l'eau distillée.

CONDENSATION DE LA VAPEUR MOTRICE.

Pour opérer la condensation de la vapeur qui a fonctionné dans les cylindres, la circonférence des tambours E'E', D'D' qui enveloppe les aubes est métallique et revêtue en dedans d'une feuille de cuivre très mince et ondulée. Ces deux bandes métalliques sont soudées l'une sur l'autre de manière à former une chambre très étroite, d'une grande étendue et composée de sillons communiquant *l*, *l*, *l*, planche 1, figure 9. La vapeur sortante est conduite dans cette chambre où elle se condense par le contact de la cloison intérieure qui est continuellement refroidie par l'eau que les aubes lancent en tournant. Le liquide provenant de la condensation coule au bas des chambres condensantes où il est puisé par les pompes alimentaires X, Y, qui le ramènent dans la chaudière. Pour augmenter la surface condensante, l'on a disposé de la même manière les circonférences et les parois verticales des tambours de devant. Chacun de ces tambours communique avec celui qui est du même côté, et en arrière, au moyen de deux tubes destinés l'un à la vapeur, l'autre au liquide de condensation. Cette disposition, que j'avais imaginée il y a bien cinq ans, n'est applicable qu'aux petits bateaux, comme le démontrent les expériences faites sur la Tamise.

DESCRIPTION D'UNE MACHINE A PETITE CHAUDIÈRE ET A CONDENSATION PAR CONTACT MÉTALLIQUE.

M. Howard, après avoir fait un grand nombre d'expériences sur la diminution possible du volume des chaudières et de la condensation de la vapeur opérée par le contact des parois métalliques refroidies extérieurement, a construit un riche bateau du nom de *Vesta* pour voyager sur la Tamise.

Ce bateau est mu par une machine à deux cylindres ayant chacun sa chaudière et une force de quarante chevaux. La combustion dans les foyers est activée très fortement par un ventilateur qui se meut aux dépens de la force motrice. La chaudière contient un métal fusible que les foyers élèvent à une température très haute et au moyen duquel l'on n'a point à craindre les dépôts ni les abaissemens du niveau. A chaque coup de piston, une pompe alimentaire injecte sur le bain métallique un jet d'eau qui se vaporise à l'instant pour aller agir dans le cylindre sur l'autre face du piston.

Dans le bateau que je vis il y a trois ans, la vapeur sortant de chaque cylindre était conduite dans un grand faisceau de tubes métalliques communiquant entre eux et enfermés dans un grand réservoir. Ce dernier recevait par le bas un courant continuel d'eau froide qui faisait sortir par le haut une quantité correspondante d'eau réchauffée par le contact des tubes dans lesquels se condensait la vapeur. L'expérience ayant fait rejeter les tubes,

M. Howard emploie dans son dernier bateau une double cloison de feuilles très minces de cuivre, roulées en spirale et enveloppées d'eau froide dans toute leur surface. La vapeur qui a fonctionné s'élance dans l'intérieur de la double cloison spirale dont l'aire refroidissante est de cent vingt pieds carrés pour chaque machine de quarante chevaux.

Malgré l'abondance de la vapeur produite, le bateau *Vesta* marche moins vite que les bateaux ordinaires mus par des machines d'une force beaucoup moindre. Aussi l'ingénieux M. Howard sera-t-il forcé d'abandonner finalement ses chaudières peu économiques à cause de leur petite surface de chauffe, ainsi que son mode de condensation qui, du reste, fut le premier employé du temps de Watt et abandonné depuis.

D'après mes observations particulières et les renseignemens que M. Howard lui-même a bien voulu me donner, je suis porté à croire que pour avoir une condensation aussi rapide que celle obtenue par le contact de la vapeur avec une pluie d'eau, il faudrait au moins six pieds carrés de surface refroidissante par force de cheval.

D'après cela, si nous supposons que les tambours de nos quatre roues à aubes aient douze pieds de diamètre et deux pieds et demi de large, l'aire de leur contour serait de 360 pieds carrés. En admettant que les deux tiers de cette double surface soit refroidie intérieurement, l'on aura 240 pieds carrés de surface condensante qui suffiraient pour quarante chevaux.

En prenant des aubes plus grandes, en plissant la mince paroi interne que l'eau refroidit, l'on pourrait peut-être liquéfier aussi vite que les condenseurs ordinaires d'une machine de soixante chevaux.

Quand la force des machines s'élève au-dessus de soixante chevaux, la condensation opérée par le contact de parois froides devient de plus en plus insuffisante. Alors il faut absolument employer le condenseur ordinaire qui nécessite une ou deux pompes à air.

Dans nos machines ces deux pompes seraient mises en mouvement, par les tiges libres des deux pistons qui se meuvent dans les troisième et quatrième cylindres à vapeur.

Toutefois la dépense de combustible serait très peu augmentée si, au lieu de condenser toute la vapeur comme à l'ordinaire, on la laissait échapper dans nos tambours : là elle se liquéfierait en partie, et le reste s'échapperait dans les cendriers pour échauffer l'air soufflé par les aubes ventilatrices. Alors la combustion serait alimentée comme dans les chaudières de nos locomotives.

VAPEUR DE L'ÉTHER SULFURIQUE.

La condensation opérée par le contact des parois froides d'un vase clos serait plus efficace si l'on employait la vapeur de l'éther sulfurique; ce dernier ferait dépenser en combustible quarante pour cent de moins que l'eau à la température de cent degrés

commune aux deux liquides. Dans ce cas la chaudière contiendrait de l'eau au-dessus de laquelle nagerait une mince couche d'éther qui fournirait la vapeur motrice.

Cette vapeur, après avoir agi sur les pistons, irait se liquéfier dans les tambours pour être ensuite injectée de nouveau dans la chaudière par les pompes alimentaires.

Pour prévenir le développement d'une trop grande force élastique quand le bateau s'arrête momentanément, ou dans tout autre cas, il y aurait un tube de communication directe de la chaudière aux condenseurs; ce tube muni d'une soupape de compression, laisserait passer la vapeur dans les tambours lorsqu'elle serait assez forte pour soulever cette soupape.

En attendant qu'on fasse disparaître les causes de fuite de l'éther qui occasionerait de grandes dépenses et de graves dangers, nous emploierons la vapeur d'eau « développée avec tant d'économie, de sûreté et d'abondance par nos chaudières, et nous la ferons agir dans nos machines à détente, avec ou sans condensation. »

DE LA FORME DES NAVIRES.

Pour déterminer *à priori* la forme du navire qui, à tonnage égal, demanderait la force motrice la plus faible pour naviguer avec la même vitesse, il faudrait connaître exactement les lois de la résistance des liquides. L'appareil que nous avons employé

pour mesurer la pression directe contre la proue et la poupe, peut également servir à déterminer les résistances obliques. Ces dernières qu'on a supposé proportionnelles tantôt au carré, tantôt au cube des sinus d'inclinaison, dépendent aussi des largeurs des maîtres-couples d'égale courbure, ou du trajet que doit parcourir l'eau déviée. D'après cela, nous avons dû renoncer à opérer sur de petits modèles pour trouver le rapport de la résistance à l'obliquité; en attendant qu'on le détermine par des expériences faites en appliquant notre appareil en un grand nombre de points des surfaces courbes des grands navires, nous adopterons, pour les bateaux à vapeur, la forme donnée par M. Lenormand. Jusqu'à présent il n'y a pas en Europe de carène qui coupe aussi légèrement l'eau que celles de l'habile constructeur établi à Rouen.

STABILITÉ.

La forme de moindre résistance serait peu importante à connaître s'il arrivait qu'elle ne pût satisfaire aux conditions de la stabilité. Le calcul, apprend que pour qu'un navire flotte en équilibre stable, il faut et il suffit que : le volume d'eau qu'il déplace, multiplié par la distance du centre de gravité de ce volume à celui du vaisseau, donne un produit moindre que la somme des élémens de la section à fleur d'eau, multipliés respectivement par le carré de leurs distances à la ligne qui va de la proue à la poupe.

Les murailles des bateaux Lenormand étant presque verticales, la stabilité est aussi grande que possible, ce qui est de la plus haute importance pour la rapidité de la marche des bateaux à vapeur.

Tontefois, l'influence de la forme pour assurer la ligne de sillage est beaucoup moindre que celle de nos aubes. Notre bateau poussé par quatre roues qui se meuvent simultanément, est maintenu avec force sur la direction de la route qu'il doit suivre. Les oscillations latérales que lui impriment les vagues sont beaucoup moindres que dans les autres; d'autant que nos réservoirs de houilles, θ, θ, placés symétriquement au-delà des murailles et au-dessus de l'eau, appuient fortement ou redressent la carène, aussitôt qu'ils plongent par une légère inclinaison.

Quant aux oscillations verticales qui, dans les bateaux à deux roues, font plonger la proue ou enfoncer la poupe, au détriment de la puissance motrice, il est évident qu'elles doivent être beaucoup moindres dans le nôtre dont le centre de gravité est entre les quatre roues.

DES VOILES.

Un des plus grands déchets des moteurs qui transportent les masses provient de la nécessité de se transporter eux-mêmes; jusqu'à présent le vent a été comme les autres soumis à cette loi. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que le poids des mâts, des

voiles et des cordages est à peu près le même que le poids d'une machine à vapeur ayant la même force que le vent qui pousserait le même bateau à la vitesse de huit à dix milles à l'heure. Ceci nous explique l'impossibilité de donner à un bateau à vapeur une voilure aussi grande que celle des navires mus par le vent; car le poids de la mâture et des machines fatiguerait la coque qui, forcément légère, ne pourrait pas conserver sa forme sous la pression de l'eau.

Ajoutons que les cheminées s'opposent, par la fumée et la vapeur qui s'en échappent, à l'établissement des grands mâts, au haut desquels il serait dangereux d'aller manœuvrer les voiles. Il suit de là que ces dernières sont tellement petites, que l'impulsion du vent est faible quand il ne vente pas fort. D'un autre côté, telle petite que soit l'aire des toiles qu'on lui oppose, l'action d'un vent latéral jette le bateau sur le flanc. Dès-lors la proue fend l'eau moins facilement; l'impulsion des aubes diminue parce que l'une plonge trop et l'autre trop peu; enfin, le gouvernail suivant l'inclinaison de la carène augmente la résistance en faisant dévier le navire qu'il tend à mener sous le vent.

Par toutes ces raisons les voiles seraient peu avantageuses dans la navigation par le feu, si elles ne servaient à économiser le combustible qu'on cesse d'employer quand le vent est favorable. Ceci demande que les roues puissent être débrayées pour tourner librement sans entraîner les machines, ou bien encore que les aubes soient faciles à enlever quand on veut aller à la voile

ou que la mer est mauvaise. Or l'un ou l'autre de ces moyens d'anéantir la résistance des aubes est facile avec nos quatre roues légères et dont les aubes sont environ deux fois plus petites que dans les autres bateaux.

BATEAU A VAPEUR POUR LES VOYAGES DE LONG COURS.

L'impossibilité d'employer des voiles suffisamment étendues et la grande dépense de combustible rendent inapplicables aux voyages de long cours le système actuel des bateaux à vapeur.

Considérons en effet un navire de mille tonneaux mû par une machine à deux ou quatre cylindres, ayant en somme une force représenté par deux cent cinquante chevaux. Le mécanisme pèsera 240 tonnes, y comprise l'eau de la chaudière.

Dans les meilleures machines du système actuel on dépense six kilogrammes de houille par heure et par cheval, quand on navigue dans l'eau calme avec une vitesse de 12 kilomètres par heure; la dépense sera donc de trente-six tonnes de combustible par jour. Dix jours seulement de combustion nécessiteraient 360 tonnes qui, ajoutées au poids de la machine, donneraient plus de six cents tonnes. Si l'on ajoute encore le poids du matériel, de la mâture, des provisions et des hommes de service, il ne resterait plus rien à pouvoir mettre dans le bateau.

VAISSEAU DE GUERRE MU PAR LA VAPEUR.

Des marins distingués ont indiqué différens modes d'application de la vapeur aux bâtimens de guerre. La difficulté principale qu'ils ont essayé théoriquement de surmonter a été de mettre les machines à l'abri des boulets. A cet effet, ils ont tous proposé d'établir le mécanisme au-dessous du plan de flottaison; mais comme les roues à aubes doivent tourner dans l'air, plusieurs ont pensé qu'il est indispensable de les remplacer par une seule roue placée au milieu du navire et chassant l'eau dans un canal moyen.

Quoique je ne sois pas marin, je crois pouvoir faire observer qu'une pareille disposition rendrait le navire moins stable, plus difficile à gouverner, et qu'elle serait très incommode à cause du grand espace qu'elle ferait perdre. J'ajouterai que si les murailles avaient la force de retenir le boulet dans leur épaisseur, le vaisseau serait trop lourd pour être mû rapidement par la vapeur.

Le meilleur des moyens qu'on a proposés de mettre les aubes à l'abri du boulet, consiste à les couvrir extérieurement d'un bouclier formant le tambour des roues. Ce bouclier serait composé de barres de fer placées de champ, et dont l'épaisseur, la distance, l'inclinaison, seraient faciles à calculer.

Cette première difficulté étant ainsi vaincue, il nous reste à examiner jusqu'à quel point une frégate à vapeur est possible.

FRÉGATE A VAPEUR.

Une frégate anglaise de soixante et quatorze canons pèse, non chargée, 1608 tonnes; quand elle est armée pour naviguer en haute mer, elle déplace trois mille mètres cubes d'eau, en sorte que le poids total est de trois mille tonnes. L'aire de ses onze voiles est égale à 2256 mètres carrés. Le poids total des toiles, des cordages et des mâts est de 140 tonnes. Les voiles seules pèsent 6000 kilogrammes.

Pour faire mouvoir convenablement une masse de trois mille tonnes, il faut une machine équivalente à la force de trois cents chevaux dynamiques. Dans le système actuel, une machine de cette force, imprimant à la frégate une vitesse de 12 à 14 kilomètres par heure, dans l'eau calme, brûlerait six kilogrammes par heure et par cheval. La dépense par jour étant de 43 tonnes de combustible, vingt jours de provision exigeraient 860 tonnes En ajoutant 300 tonnes, poids de la machine, y compris les boucliers qui doivent protéger les aubes, on aurait 1,160,000 kilogrammes pour la charge additionnelle qu'il faudrait faire porter à la frégate. Une telle surcharge rendrait le bâtiment lourd et par conséquent lent. En général dans la navigation de longue durée, la vitesse due à la vapeur agissant par un temps calme, est compensée par le retard produit par la surcharge, quand on navigue à la voile, le vent étant favorable. Selon cette observation, la vapeur dans les bâtimens de guerre ne serait utile que pour le com-

bat. Toutefois l'on pourrait embarquer moins de tonneaux d'eau potable, en distillant plusieurs fois l'eau de mer qui fournit la vapeur motrice que l'on condenserait en partie.

Nos machines étant beaucoup plus légères et surtout plus économiques, permettent aux bâtimens à vapeur de tenir plus long-temps la mer. Malgré cela, la navigation lointaine par le feu sera toujours restreinte tant qu'on emploiera la mâture actuelle qui limite la vitesse des navires, par son poids et par l'impossibilité d'augmenter les voiles.

FIN.

TABLE DES MATIERES.

FIN DE LA TABLE.

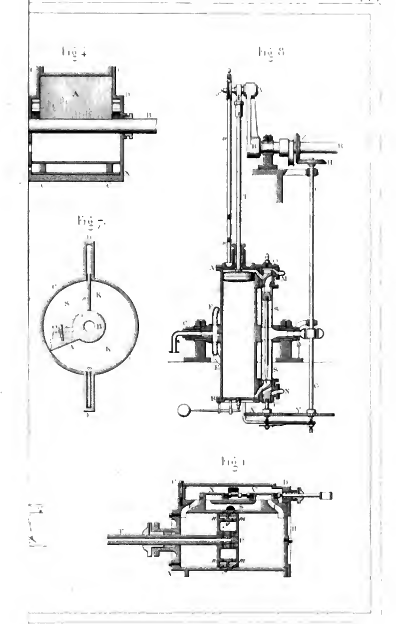

Fig 4
Fig 8
Fig 7
Fig 1



Fig. 2

Fig. 1

Fig. 8

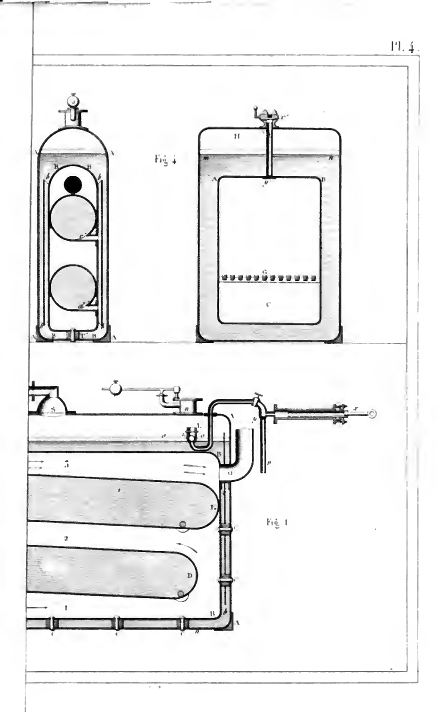
Fig. 1

Fig. 2

Fig. 15

Fig. 14


Pl. 5


Fig. 4
Fig. 1

